



## **TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501**

### **MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG E FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Mahasiswa:

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
NRP.3113.030.079

RISAS ROMADHON RIDHOH  
NRP. 3113.030.093

Dosen Pembimbing :  
Ir. SUNKONO, CES  
NIP. 19591130 198601 1 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TEKNIK SIPIL**  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**APPLIED FINAL PROJECT - RC 145501**

**BUILDING STRUCTURAL DESIGN MODIFICATION OF  
“GEDUNG E FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS  
SEBELAS MARET SURAKARTA” WITH INTERMEDIATE  
MOMENT RESISTING FRAME METHOD**

**Student:**

**ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
NRP.3113.030.079**

**RISAS ROMADHON RIDHOH  
NRP. 3113.030.093**

**Counsellor Lecturer :  
Ir. SUNKONO, CES  
NIP. 19591130 198601 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

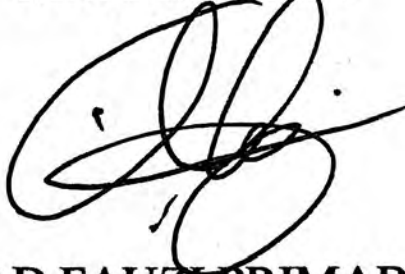
### MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

### TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik  
pada  
Program Studi Diploma III Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun oleh:

MAHASISWA I



ACHMAD FAUZI PRIMABELLA

NRP. 3113030079

MAHASISWA II



RISAS ROMADHON RIDHOH

NRP. 3113030093

Disetujui Oleh:

PEMBIMBING I



IF SUNGKONO, CES.

NIP. 19591130 198601 1 001

21 JUL 2016

SURABAYA, 21 JULI 2016



**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : RISAS ROMADHON RIDHON / ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
Nrp. : 3113030093 / 3113030079  
Jurusan / Fak. : D3 TEKNIK SIPIL / FTSP  
Alamat kontak : Keputih gang 3C-18  
a. Email : Risas3dr@gmail.com / achfaprimo7@gmail.com  
b. Telp/HP : 085645686277 / 085735914944

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta Dengan Metode Struktur Bangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 21-Juli-2016

Yang menyatakan,

Nrp. 3113030093.

**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung E Fakultas  
Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta Dengan  
Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah  
(SRPMM)**

**Nama Mahasiswa** : Achmad Fauzi Primabella  
**NRP** : 3113030079

**Nama Mahasiswa** : Risas Romadhon Ridhoh  
**NRP** : 3113030093

**Jurusan** : Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS

**Dosen Pembimbing** : Ir. Sungkono, CES  
**NIP** : 19591130 198601 1 001

**ABSTRAK**

Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta terletak di kota Surakarta dengan luas bangunan 1248 m<sup>2</sup> (24m x 52m) yang memiliki lantai semi basement pada lantai bawah dan 4 lantai di atasnya dengan fungsi gedung perkuliahan dengan ketinggian 20,8 m.

Perhitungan stuktur menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah yang mengacu pada SNI 1726-2012 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Stuktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Karena bangunan masuk kategori bangunan beraturan maka dalam perencanaan beban akibat gempa menggunakan statik ekuivalen. Sedangkan pembebanan non gempa dapat disesuaikan dengan peraturan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan stuktur lain.

Stuktur sekunder berupa pelat dan tangga yang dipikul stuktur primer yaitu balok dan kolom. Stuktur bawah sendiri dari sloof dan pile cap, dengan pondasi tiang pancang. Bahan utama penyusunan stuktur adalah beton bertulang, dengan mengau pada

SNI 03-2847-2013 : Tata Cara Perhitungan stuktur Beton untuk Bangunan Gedung.

Hasil dari perhitungan ini berupa gambar teknik yang terdiri dari gambar arsitektur, gambar denah stuktur, dan gambar detail penulangan.

**Kata Kunci** : Bangunan gedung, Sistem Rangka Pemikul menengah, Statik Ekuivalen.

**Building Structural Design Modification of “Gedung E  
Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta”  
with Intermediate Moment Resisting Frame Method**

**Student Name** : Achmad Fauzi Primabella  
**NRP** : 3113030079

**Student Name** : Risas Romadhon Ridhoh  
**NRP** : 3113030093

**Major** : Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS

**Conselor** : Ir. Sungkono, CES  
**NIP** : 19591130 198601 1 001

**ABSTRACT**

“Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta” is located in the city of Surakarta with area  $1248 \text{ m}^2$  (24m x 52m) that has 5 floors on the lowest ground which functioned as the parking lot and 4 floors above it functioned as the lecture building with a height 20,8 m.

The calculation of the structure is using the intermediate moment resisting frame method that referring to Indonesia National Standard 1726-2012 : Planning Procedures of Earthquake-Resistant Stuctures for Building or Non-Building. Because the building is categorized as an uniform building so at the load planning due to the seismic effect is using static equivalent. While the non-seismic load can be customized with Indonesia National Standard 1727-2013 about Minimum Load for The Desaign of building and Other Stuctures.

Secondary stuctures in the from of plates and stairs which carried by the primary stuctures contains of beam and columns. The down structure contains of sloof dan pile cap with the foundation using piles. Main material as the structure composer is reinforced concrete that referring to Indonesia National Standard

03-2847-2013 about Calculation Procedures of Concrete Stuctural for Building.

The result from this calculation is in the from of engineering drawings that concists of architectural drawings, structural plan drawings, and reinforcement details drawings.

**Key words** : Building, Intermediate Moment Resisting Frame, Static Equivalent.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR NOTASI .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Tujuan .....	2
1.4    Batasan Masalah .....	3
1.5    Manfaat .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
BAB III METODOLOGI .....	9
3.1    Pengumpulan Data .....	9
3.2    Preliminary Design .....	10
3.2.1 Struktur Primer .....	10
3.2.2 Struktur Sekunder .....	13
3.2.3 Struktur Pondasi .....	16
3.3    Analisis Pembebanan .....	17
3.3.1 Beban Mati .....	17
3.3.2 Beban Hidup .....	17
3.3.3 Beban Hujan .....	17
3.3.4 Beban Angin .....	18
3.3.5 Beban Gempa .....	18
3.4    Analisis Struktur .....	22
3.5    Analisis Gaya Dalam .....	22
3.6    Perhitungan Penulangan Struktur .....	23
3.6.1 Penulangan Struktur Sekunder .....	23
3.6.1.1 Pelat Lantai .....	23
3.6.1.2 Pelat Tangga .....	27
3.6.2 Penulangan Struktur Primer .....	28
3.6.2.1 Balok .....	28
3.6.2.2 Sloof .....	35

3.6.2.3 Kolom.....	38
3.6.3 Penulangan Struktur Bawah.....	44
3.6.1.1 Pondasi .....	44
3.7 Gambar Perencanaan.....	48
3.8 Flow Chart .....	50
3.8.1 Langkah-langkah Perencanaan Struktur Bangunan ...	50
3.8.2 Gempa.....	52
3.8.3 Pelat lantai .....	54
3.8.4 Pelat Tangga dan Bordes.....	56
3.8.5 Balok Lentur .....	58
3.8.6 Balok Geser .....	60
3.8.7 Kolom Lentur.....	62
3.8.8 Kolom Geser .....	65
3.8.9 Pondasi .....	68
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	73
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur .....	73
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok .....	73
4.1.2 Perencanaan Dimensi Sloof .....	77
4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom.....	79
4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat .....	81
4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga .....	86
4.2.1 Pembebanan Struktur .....	88
4.2.1.1 Pembebanan Pelat.....	88
4.2.1.2 Pembebanan Tangga.....	90
4.2.1.3 Pembebanan Dinding .....	91
4.2.1.4 Pembebanan Angin.....	91
4.2.1.5 Pembebanan Gempa .....	98
4.2.2 Perhitungan Stuktur Sekunder .....	118
4.2.2.1 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai .....	118
4.2.2.1.1 Perhitungan Pelat Lantai .....	118
4.2.2.1.2 Perhitungan Pelat Atap .....	126
4.2.2.2 Perhitungan Pelat Tangga dan bordes .....	135
4.2.2.2.1 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga .....	135
4.2.2.2.2 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes .....	140
4.2.2.2.3 Perhitungan Tulangan Balok Bordes.....	144
4.2.3 Perhitungan Stuktur Primer.....	177
4.2.3.1 Perhitungan Tulangan Balok Induk .....	177

4.2.3.2 Perhitungan Tulangan Balok Anak .....	216
4.2.3.3 Perhitungan Tulangan Balok Kantilever .....	250
4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Kolom .....	287
4.2.3.4.1 Perhitungan Tulangan Lentur Kolom.....	287
4.2.3.4.2 Perhitungan Tulangan Geser Kolom .....	309
4.2.3.4.3 Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom.....	314
4.2.3.4.4 Panjang penyaluran tulangan kolom .....	315
4.2.4 Perhitungan Stuktur Bawah .....	316
4.2.4.1 Perhitungan Tulangan Sloof .....	316
4.2.4.2 Perhitungan Pondasi .....	346
4.2.4.2.1 Perhitungan Pondasi Tipe 1 .....	348
4.2.4.2.2 Perhitungan Pondasi Tipe 2 .....	368
4.2.4.2.3 Perhitungan Pondasi Tipe 3 .....	389
BAB V PENUTUP .....	413
5.1 Kesimpulan .....	413
5.2 Saran .....	416
DAFTAR PUSTAKA	
BIODATA PENULIS	
LAMPIRAN	
A. Metode Pelaksanaan Tiang Pancang	
B. Data Hasil Uji Tanah SPT	
C. Brosur Tipe Pancang	
D. Gambar Arsitektur dan Stuktur	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1 : Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung .....</i>	<i>11</i>
<i>Tabel 2 : Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabel 3 : Tebal minimum pelat tanpa balok interior .....</i>	<i>15</i>
<i>Tabel 4 : Rasio tulangan susut dan suhu .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabel 5 : Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabel 6 : Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabel 7 : Ketidakberaturan horisontal pada stuktur .....</i>	<i>98</i>
<i>Tabel 8 : Ketidakberaturan vertikal pada struktur .....</i>	<i>99</i>
<i>Tabel 9 Perhitungan Nilai Fa secara interpolasi Linier .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabel 10 : Rekapitulasi penulangan tangga .....</i>	<i>144</i>
<i>Tabel 11 : Rekapitulasi Penulangan Kolom .....</i>	<i>315</i>
<i>Tabel 12 : Daya dukung tiang berdasar data SPT .....</i>	<i>347</i>
<i>Tabel 13 : Perhitungan Jarak X dan Y .....</i>	<i>358</i>
<i>Tabel 14 : Perhitungan Jarak X dan Y .....</i>	<i>360</i>
<i>Tabel 15 : Perhitungan Jarak X dan Y .....</i>	<i>379</i>
<i>Tabel 16 : Perhitungan Jarak X dan Y .....</i>	<i>399</i>



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Rencana dimensi balok induk 40/60 .....	74
Gambar 4. 2 : Denah rencana balok anak .....	75
Gambar 4. 3 : Rencana dimensi balok anak 30/40.....	75
Gambar 4. 4 : Gambar denah balok kantilever .....	76
Gambar 4. 5 : Dimensi balok kantilever .....	77
Gambar 4. 6 : Gambar denah rencana sloof.....	78
Gambar 4. 7 : Rencana dimensi sloof 40/60 .....	79
Gambar 4. 8 : Rencana denah kolom.....	79
Gambar 4. 9 : Rencana dimensi kolom 50/50.....	80
Gambar 4. 10 : Rencana denah pelat .....	81
Gambar 4. 11 : Rencana denah pelat .....	87
Gambar 4. 12 : Kategori resiko bangunan .....	93
Gambar 4. 13 : Prakiran cuaca provinsi jawa timur (sumber : meteo.bmkg.go.id).....	94
Gambar 4. 14 : Penulangan pelat lantai .....	126
Gambar 4. 15 : Penulangan pelat atap .....	134
Gambar 4. 16 : Penulangan tangga .....	143
Gambar 4. 17 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi .....	145
Gambar 4. 18 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok .....	146
Gambar 4. 19 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan .....	146
Gambar 4. 20 :Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kiri....	146
Gambar 4. 21 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom .....	147
Gambar 4. 22 : Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM.....	170
Gambar 4. 23 : Denah balok yang ditinjau pada lantai 1, tipe balok B1 .....	177
Gambar 4. 24 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi .....	179
Gambar 4. 25 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok .....	179
Gambar 4. 26 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan .....	179
Gambar 4. 27 :Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kiri....	179

Gambar 4. 28 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom .....	180
Gambar 4. 29 : Kebutuhan tulangan tumpuan balok induk .....	204
Gambar 4. 30 : Kebutuhan tulangan lapangan balok induk .....	204
Gambar 4. 31 : Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM .....	206
Gambar 4. 32 : Denah balok anak yang ditinjau .....	216
Gambar 4. 33 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi balok anak ..	217
Gambar 4. 34 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok anak .....	218
Gambar 4. 35 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan balok anak .....	218
Gambar 4. 36 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan balok anak .....	218
Gambar 4. 37 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom anak .....	219
Gambar 4. 38: Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM .....	240
Gambar 4. 39 : denah balok kantilever .....	250
Gambar 4. 40 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi balok kantilever .....	251
Gambar 4. 41 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok kantilever .....	252
Gambar 4. 42 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan balok kantilever .....	252
Gambar 4. 43 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kiri balok kantilever .....	252
Gambar 4. 44 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom balok kantilever .....	253
Gambar 4. 45 Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM .....	279
Gambar 4. 46 : Grafik alignmen .....	292
Gambar 4. 47 : Diagram Interaksi Penulangan .....	295
Gambar 4. 48 : Diagram Interaksi Penulangan .....	302
Gambar 4. 49 : Detail penulangan .....	307
Gambar 4. 50 : Output Gaya PcAcol .....	309
Gambar 4. 51 : Lintang rencana untuk SRPMM .....	310
Gambar 4. 52 : Hasil output SAP 2000 torsi sloof .....	317
Gambar 4. 53 : Hasil output SAP 2000 lapangan sloof .....	317
Gambar 4. 54 : Hasil output SAP 2000 tumpuan kiri sloof .....	317

Gambar 4. 55 : Hasil output SAP 2000 tumpuan kanan sloof ..	318
Gambar 4. 56 : Hasil output SAP 2000 gaya geser sloof.....	318
Gambar 4. 57 : Gaya Lintang Balok pada SRPMM.....	319
Gambar 4. 58 : penulangan sloof.....	340
Gambar 4. 59 : Peerencanaan Geser untuk Balok SRPMM.....	341
Gambar 4. 60 : Penampang Pile Cap Tipe 1 .....	349
Gambar 4. 61 : Gambar bidang kritis pons satu arah .....	351
Gambar 4. 62 : Gaya Poer dan Pancang .....	358
Gambar 4. 63 : Gaya Poer dan Pancang .....	360
Gambar 4. 64 : Gaya Poer dan Pancang .....	361
Gambar 4. 65 : detail penulangan pile cap tipe 1 .....	368
Gambar 4. 66 : Penampang Pile Cap Tipe 2 .....	370
Gambar 4. 67 : Gambar bidang kritis pons satu arah .....	372
Gambar 4. 68 : Gambar bidang kritis pons dua arah.....	373
Gambar 4. 69 : Gaya poer dan pancang.....	379
Gambar 4. 70 : Detail penulangan poer tipe 2 .....	389
Gambar 4. 71 : Penampang Pile Cap Tipe 3 .....	391
Gambar 4. 72 : Detail penulangan poer tipe 3 .....	408

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR NOTASI

$b_w$	= lebar badan (web), mm.
$D$	= pengaruh dari beban mati.
$F_a$	= koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik).
$F_v$	= koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik).
$f'_c$	= kekuatan tekan beton yang disyaratkan, Mpa.
$f_y$	= kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, Mpa.
$h$	= tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm.
$h_w$	= tinggi bersih segmen yang ditinjau, mm.
$I$	= momen inersia penampang terhadap sumbu pusat, mm <sup>4</sup> .
$I_b$	= momen inersia penampang bruto balok terhadap sumbu pusat, mm <sup>4</sup> .
$l_n$	= panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan, mm.
$l$	= panjang bentang balok atau slab satu arah, mm.
$L$	= beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
$L_r$	= beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
$R$	= beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.
$S_s$	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 persen.
$S_1$	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.
$S_{DS}$	= parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen.
$S_{D1}$	= parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.
$S_{MS}$	= parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.



$S_{M1}$	= parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
$S_n$	= kekuatan lentur, geser atau aksial nominal sambungan.
$T$	= periode fundamental bangunan (seperti yang ditentukan dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2)
$T_0$	$= 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
$T_s$	$= \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
$W$	= beban angin.
$\alpha_1$	= rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar plat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya(jika ada) pada setiap sisi balok.
$\phi_b$	= faktor reduksi (0,9).
$d_b$	= diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand prategang, mm.
$l_d$	= panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau strand pratarik, mm.
$l_{dc}$	= panjang penyaluran tekan batang tulangan ulir dan kawat ulir, mm.
$l_{dh}$	= panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis ujung luar kait ( panjang penanaman lurus antara penampang kritis dan awal kait[titik tangen] ditambah jari-jari dalam bengkokan dan satu diameter batang tulangan), mm.
$V_{u1}$	= gaya geser pada muka perletakan.
$M_{nl}$	= momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri).
$M_{nr}$	= momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)
$l_n$	=panjang balok bersih

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perencanaan bangunan sipil adalah perencanaan struktur yang dapat menyalurkan beban-bebannya menuju kepondasi dengan baik tanpa keruntuhan. Struktur gedung bertingkat yang umum direncanakan adalah stuktur beton bertulang dan baja, dalam perencanaan stuktur beton bertulang banyak digunakan dalam perencanaan stuktur primer seperti (Sloof, balok dan kolom). Mekanisme penyaluran beban pada sistem stuktur bangunan dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung, penyaluran beban secara langsung berupa momen, gaya aksial, torsi dan geser (atau kombinasinya).

Perencanaan suatu bangun baik bangunan bertingkat atau tidak bertingkat dapat menggunakan beberapa metode dalam perencanaannya dengan mempertimbangkan resiko kegempaan yang terjadi pada wilayah bangun itu dibangun. Diantaranya adalah metode sistem rangka pemikul momen (SRPM). Sistem rangka pemikul momen terbagi berdasarkan zona kegempaan antara lain sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) yang digunakan pada zona rendah, sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) yang digunakan pada zona sedang dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang digunakan pada zona kegempaan tinggi

Perencanaan bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan luas bangunan 1248 m<sup>2</sup> (24m x 52m) yang memiliki lantai semi basement pada lantai bawah dan 4 lantai diatasnya dengan fungsi gedung perkuliahan dengan ketinggian 20,8 m. Dalam perencanaan ini direncanakan dengan perubahan fungsi ruangan pada lantai semi bassment sebagai ruangan lantai parkir dengan perubahan elevasi yang awalnya -3.20 menjadi elevasi  $\pm 0.00$ . Untuk stuktur atap yang awalnya adalah stuktur baja dimodifikasi dengan perencanaan stuktur beton bertulang. Perencanaan bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta menggunakan data tanah daerah sampan madura karena

diperlukan data tanah yang dapat direncanakan dengan metode SRPMM. Bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta dapat direncanakan dengan metode SRPMM.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang ditinjau dalam penulisan tugas akhir untuk perencanaan perhitungan stuktur Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah :

1. Bagaimana cara membebani bangunan dengan beban yang berkerja pada perencanaan stuktur bangunan tahan gempa probabilitas 0,2% dalam 50 tahun.
2. Bagaimana cara menganalisis gaya-gaya dalam yang berkerja dalam perencanaan stuktur bangunan.
3. Bagaimana merencanakan penulangan stuktur gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari disusunnya tugas akhir sebagai berikut :

1. Menentukan beban-beban yang berkerja pada perencanaan struktur bangunan tahan gempa probabilitas 0,2% dalam 50 tahun.
2. Dapat menganalisa gaya-gaya dalam bangunan gedung untuk menghitung kekuatan stuktur bangunan untuk merespon beban-beban yang berkerja.
3. Menentukan tulangan yang digunakan dalam stuktur bangunan.
4. Menerapkan pengetahuan SRPMM yang sudah dikuliahkan.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari disusunnya tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan lantai basement diubah fungsi menjadi lantai parkir dengan perubahan elevasi  $\pm 0.00$ .
2. Rangka atap baja dimodifikasi dengan perencanaan stuktur atap beton bertulang.
3. Perencanaan menggunakan data tanah daerah Pamekasan Madura.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan referensi tentang perencanaan gedung bertingkat dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).
2. Mampu merencanakan perhitungan stuktur stuktur gedung dengan system Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Mampu menghitung penulangan stuktur gedung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **Referensi**

Tinjauan pustaka ini dijelaskan mengenai teori dan studi pustaka, sebagai tinjauan untuk menyelesaikan perhitungan stuktur bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta, mengacu pada peraturan dan referensi buku seperti SNI 2847-2013 tentang tata cara perhitungan stuktur beton untuk bangunan gedung, SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk stuktur bangunan gedung dan non gedung dan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan stuktur lain.

Perencanaan stuktur bangunan referensi buku yang digunakan adalah Chu-Kia Wang dan Wang G. Salmon Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 1 dan 2. Perencanaan stuktur bawah menggunakan referensi Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 (*Karl Terzaghi dan Ralp B. Peck*), Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2 (*Joseph E. Bowies*), Desain Pondasi Tahan Gempa (*Anugrah Pamungkas & Erny Harianti*).

#### **Beban**

Perencanaan stuktur harus dapat menyalurkan beban-bebannya menuju kepondasi dengan baik tanpa keruntuhan, untuk beban-beban yang berkerja pada sebuah bangunan antara lain yaitu beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa yang dijelaskan pada SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan stuktur lain. Untuk metode perencanaan yang digunakan adalah metode sistem rangka pemikul momen (SRPM) yang memiliki beberapa metode seperti rangka pemikul biasa, menengah dan khusus. Untuk perencanaan ini menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah atau disingkat dengan (SRPMM).

#### **SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)**

Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem stuktur yang

pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur, yang diatur dalam (SNI 2847-2013 pasal 21.3). Dengan detail tulangan komponen SRPMM yang harus memenuhi ketentuan pada (SNI 2847-2013 pasal 21.3.4-21.3.6). Untuk detail penulangan kuat geser rencana balok, kolom dan kontruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa Geser balok sesuai dengan (SNI 2847-2013 pasal 21.3.3.1 dan pasal 21.3.4). Geser kolom sesuai dengan (SNI 2847-2013 pasal 21.3.3.2 dan pasal 21.3.5). Geser Pelat sesuai dengan (SNI 2847-2013 pasal 21.3.6).

### **Stuktur Primer**

Komponen stuktur primer dalam perencanaan bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta ini meliputi balok, kolom serta sloof. Untuk referensi tentang komponen stuktur balok dalam perencanaan dimensi balok sesuai dengan (SNI 2847:2013 pada tabel 9.5(a)). Pelindung beton untuk tulangan sesuai dengan (SNI 2847:2013 pasal 7.7.1). Persyaratan spasi tulangan sesuai dengan (SNI 2847:2013 pasal 7.6). Perencanaan kuat lentur dan geser berdasarkan (SNI 2847:2013). Komponen stuktur kolom harus ditulangi secara spiral sesuai dengan 7.10.4 atau harus memenuhi 21.3.5.2 hingga 21.3.5.4 subpasal 21.3.5.5 berlaku untuk semua kolom, dan 21.3.5.6 berlaku untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus (SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5.1). Untuk komponen stuktur sloof prinsipnya sama seperti balok dengan mencari nilai moment ultimate kanan dan kiri, beserta gaya tarik ( $N_u$ ) dari 10% gaya aksial pada kolom kanan dan kiri.

### **Stuktur Sekunder**

Komponen stuktur sekunder dalam perencanaan bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta meliputi pelat lantai, Atap serta pelat tangga. Berikut uraian dari stuktur sekunder yang ditinjau. Pada perencanaan pelat terdiri menjadi 2 macam yaitu perencanaan

pelat satu arah dan pelat dua arah. Perencanaan pelat satu arah diatur pada (SNI 2847-2013 pasal 9.5.2), untuk ketebalan minimum pelat sesuai dengan (SNI 2847-2013 tabel 9.5(a)). dan lendutan digunakan metode lendutan elastis (pasal 9.5.2.2 SNI 2847-2013). Perencanaan pelat dua arah diatur dalam (SNI 2847-2013 pasal 9.5.3) dan untuk tebal minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan (SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3).

Struktur tangga termasuk dalam komponen sekunder dalam perencanaan bangunan, untuk perencanaan struktur tangga harus sesuai dengan (SNI 1727:2013) dan untuk penulangan pada plat anak tangga dan plat bordes menggunakan perhitungan sesuai prinsip perhitungan perencanaan plat. Untuk struktur sekunder lainnya adalah pondasi dimana Perencanaan struktur pondasi menggunakan pondasi tipe borpile. Data tanah yang digunakan adalah data spt, untuk hal-hal yang diperhatikan dalam perencanaan pondasi dalam adalah perhitungan daya dukung tanah, kekuatan tanah, perencanaan tulangan borpile dan Poer, Panjang penyaluran tulangan kolom ke pile cap, Kontrol geser pons.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

Langkah-langkah dalam perencanaan struktur Bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

#### **3.1 Pengumpulan Data**

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan struktur Bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret :

##### **1. Data Gambar**

Gambar rencana yang diperlukan meliputi gambar arsitektur dan dilengkapi dengan gambar struktur bangunan.

##### **2. Data Perencanaan**

###### **a) Data Bangunan**

- Fungsi Bangunan : Gedung Perkuliahan
- Luas Bangunan : 1248 m<sup>2</sup>
- Tinggi Bangunan : 20,8 m
- Jumlah lantai : 5 lantai
- Struktur Bangunan : Beton Bertulang
- Struktur Atap : Beton Bertulang
- Struktur Pondasi : Pondasi Tiang Pancang

###### **b) Data Bahan**

- Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 30 MPa
- Mutu Baja tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 MPa
- Mutu Baja tulangan geser ( $f_{ys}$ ) : 240 Mpa
- 

##### **3. Data Tanah**

Data tanah diperoleh dari laboratorium uji tanah Diploma Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Data tanah berupa SPT (*Standart Penetration Test*) yang nantinya digunakan untuk merencanakan struktur pondasi.

#### 4. Data Buku

##### a) Buku Penunjang

Buku penunjang sebagai dasar teori dalam perencanaan struktur antara lain, Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 1 (*Chu-Kia Wang dan Wang G Salmon*), Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (*Chu-Kia Wang dan Wang G Salmon*), Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 (*Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck*), Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2 (*Joseph E. Bowles*), Desain Pondasi Tahan Gempa (*Anugrah Pamungkas & Erny Harianti*).

##### b) Buku peraturan-peraturan

Buku peraturan yang dipakai adalah SNI 2847:2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. SNI 1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. SNI 1727:2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, Peta Hazard 2010.

### 3.2 Preliminary Design

Preliminary Design adalah tahap awal dalam merencanakan dimensi struktur dari bangunan gedung, komponen struktur bangunan gedung antara lain :

#### 1. Struktur Atas

- a) Struktur Primer adalah komponen struktur utama bangunan yang terdiri dari balok, sloof, dan kolom.
- b) Struktur Sekunder adalah komponen struktur bangunan yang terdiri dari pelat lantai, tangga, dan atap.

#### 2. Struktur Bawah

Komponen struktur pondasi

#### 3.2.1 Struktur Primer

##### 1. Perencanaan dimensi balok

Dalam menentukan tinggi balok dapat menggunakan peraturan *SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a)* sebagai berikut :

*Tabel 1 : Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung*

Komponen struktur	Tebal minimum h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung	Kedua ujung	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkandenganpartisiatau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau plat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
<p><u>Catatan :</u>            Panjang bentang dalam mm.            Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut :</p> <p>a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), <math>w_c</math>, diantara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan <math>(1,65 - 0,0003 w_c)</math> tetapi tidak kurang dari 1,09.</p> <p>b) Untuk <math>f_y</math> selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan <math>(0,4 + f_y/700)</math></p>				

- Untuk menentukan nilai dimensi tinggi (h) pada balok sebagai berikut :  
 a) Dimensi tinggi (h) pada balok induk

$$H \geq \frac{1}{16} \times l \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Jika  $f_y$  selain 420 Mpa

b) Dimensi tinggi (h) pada balok anak

$$H \geq \frac{1}{21} \times l \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Jika  $f_y$  selain 420 Mpa

c) Dimensi tinggi (h) pada balok kantilever

$$H \geq \frac{1}{8} \times l \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Jika  $f_y$  selain 420 Mpa

- Untuk menentukan nilai dimensi lebar (b) didapat dari nilai 2/3 dari tinggi (h) pada balok yang telah dihitung.

2. Perencanaan dimensi sloof

- Untuk menentukan nilai dimensi tinggi (h) pada sloof sama dengan balok induk sebagai berikut :

Dimensi tinggi (h) pada sloof

$$H \geq \frac{1}{16} \times l \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Jika  $f_y$  selain 420 Mpa

- Untuk menentukan nilai dimensi lebar (b) didapat dari nilai 2/3 dari tinggi (h) pada sloof yang telah dihitung.

3. Menentukan dimensi kolom

Sesuai peraturan *SNI 2847:2013 Pasal 8.10*

Untuk menentukan dimensi kolom sebagai berikut :

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

Keterangan:

$I_{kolom}$  = Inersia kolom ( $1/12 \times b \times h^3$ )

$L_{kolom}$  = Tinggi bersih kolom

$I_{balok}$  = Inersia balok ( $1/12 \times b \times h^3$ )

$L_{balok}$  = Tinggi bersih balok

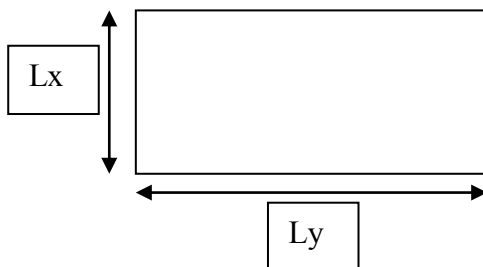


### 3.2.2 Struktur Sekunder

#### 1. Perencanaan Tebal Pelat Lantai

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

- Pelat satu arah (one way slab)



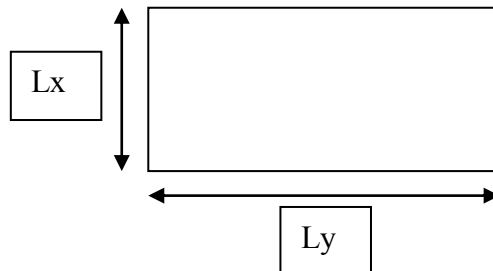
Apabila  $\frac{L_y}{L_x} > 2$ , maka termasuk pelat satu arah, dimana  $L_x$  adalah bentang pendek dan  $L_y$  adalah bentang panjang, sehingga tebal minimum untuk pelat satu arah telah diatur sesuai *SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.1*

*Tabel 2 : Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung*

Komponens truktur	Tebal minimum h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung	Keduaaju ng	Kantilever
	Komponenstrukturtidakmenumpuatautidakdihubungkandenganpartisiatu konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masifsatu arah	1/20	1/24	1/28	1/10

Balok atau plat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
<p><u>Catatan :</u>          Panjang bentang dalam mm.          Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai ini harus dimodifikasi sebagai berikut :</p> <p>a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), <math>w_c</math>, diantara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai <math>t_d</math> harus dikalikan dengan <math>(1,65 - 0,0003 w_c)</math> tetapi tidak kurang dari 1,09.</p> <p>b) Untuk <math>f_y</math> selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan <math>(0,4 + f_y/700)</math>.</p>				

- Pelat dua arah (two way slab)



Apabila  $\frac{L_y}{L_x} < 2$ , maka termasuk pelat dua arah, dimana  $L_x$  adalah bentang pendek dan  $L_y$  adalah bentang panjang, sehingga sesuai SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.3, tebal minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) Untuk  $\alpha_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya

dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

- Pelat tanpa penebalan > 125 mm
- Pelat dengan penebalan > 100 mm

*Tabel 3 : Tebal minimum pelat tanpa balok interior*

Tegangan leleh, $f_y$ Mpa*	Tanpa penebalan**			Dengan penebalan**		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir***		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir***	
280	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
420	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36
520	ln/28	ln/31	ln/31	ln/31	ln/34	ln/34
<p>Untuk konstruksi dua arah, ln adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur mukakan tumpuan pada pelat tanpa balok dan mukakan muka atau tumpuan lainnya pada kasuyang lain.</p> <p>* Untuk <math>f_y</math> antara nilai yang diberikandalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier</p> <p>** Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5</p> <p>*** Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya disepanjang tepi eksterior. Nilai untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8</p>						

- b) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 0,2 tidak lebih dari 2,0 h, ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan berikut

$$h = \frac{\ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- c) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2h, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 m

- d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekuatan  $\alpha_1$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan 9.12 dan 9.13 harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

## 2. Menentukan dimensi tangga

Perhitungan perencanaan dimensi tangga sebagai berikut :

- syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

- Sudut kemiringan tangga ( $\alpha$ )

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

- Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

- Tebal efektif pelat anak tangga (d)

Perbandingan luas segitga

$$\frac{L\Delta_1}{2} \times i \times t = \frac{L\Delta_2}{2} \times \left(\sqrt{i^2 + t^2}\right) \times d$$

Maka tebal efektif pelat tangga

Tebal pelat tangga rencana +  $\frac{1}{2} d$

### 3.2.3 Struktur Pondasi

Perencanaan pondasi dalam struktur bangunan menggunakan data tanah yaitu data SPT. Dalam perencanaannya harus mempertimbangkan jenis, kondisi, dan struktur tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi

diatasnya. Perencanaan dimensi pondasi dan poer direncanakan setelah dilakukan pemodelan struktur dan analisis gaya dalam.

### 3.3 Analisis Pembebanan

#### 3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (SNI 1727:2013 Pasal 3)

#### 3.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. (SNI 1727:2013 Pasal 4)

#### 3.3.3 Beban Hujan

Menurut (SNI 1727-2013 pasal 8.3) setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah dengan beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

$$R = 0,0098 (ds+dh)$$

Dengan:

$R$  = beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam  $\text{kN/m}^2$ . Apabila istilah atap yang tidak melendut digunakan, lendutan dari beban (termasuk beban mati) tidak perlu diperhitungkan ketika menentukan jumlah air hujan pada atap.

$ds$  = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam (mm).

$dh$  = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik), dalam (mm).

### 3.3.4 Beban Angin

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut pasal 26 sampai dengan pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini. (*SNI 1727:2013 Pasal 26*)

### 3.3.5 Beban Gempa

Dalam perencanaan beban gempa pada Perencanaan Struktur Bangunan Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret dihitung dengan mengacu pada peraturan *SNI 1726-2012 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung)*.

#### 1. Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )

Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa sesuai *SNI 1726-2012 tabel 1* didapatkan dari fungsi bangunan, sehingga akan diperoleh nilai faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) pada *tabel 2 SNI 1726-2012*.

#### 2. Klasifikasi situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan.

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah, maka kelas situs terbesar harus diklasifikasikan terlebih dahulu sehingga profil tanah dapat diketahui. Kelas situs didapat dari data tanah bangunan, pada *SNI 1726-2012 tabel 3* dijelaskan beberapa macam kelas situs yang harus ditinjau.

### 3. Kecepatan rata-rata gelombang geser ( $V_s$ )

Nilai  $V_s$  harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut :

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

Keterangan :

$d_i$  = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter

$V_{si}$  = Kecepatan gelombang geser lapisan  $i$  dinyatakan dalam meter per detik (m/detik)

$\sum_{i=1}^n d_i = 30$  meter

4. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ( $N$ ), dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non kohesif ( $N_{ch}$ ). Nilai  $N$  dan  $N_{ch}$  harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut :

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dimana  $N$  dan  $d_i$  dalam persamaan 2.2 berlaku untuk tanah non kohesif, tanah kohesif, dan lapisan batuan.

$$N_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dimana  $N_i$  dan  $d_i$  dalam persamaan 2.3 berlaku untuk lapisan tanah non kohesif saja, dan  $\sum_{i=1}^n d_i = d_s$   $\sum_{i=1}^n d_i = d_s$ , dimana  $d_s$  adalah ketebalan total dari lapisan tanah non kohesif di 30 meter lapisan paling atas.  $N_i$  adalah tahanan penetrasi standar 60 persen energi ( $N_{60}$ ) yang terukur langsung dilapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 305 pukulan/meter.

5. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget ( $MCE_R$ ). Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periodependek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a S_s \\ S_{M1} &= F_v S_1 \end{aligned}$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik

Dan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  sesuai *SNII726-2012 tabel 4 dan 5*

#### 6. Parameter percepatan spektral desain

Berdasarkan *SNII726-2012 Pasal 6.3* Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} \end{aligned}$$

#### 7. Spektrum respons desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus



dikembangkan dengan mengacu *SNI 1726-2012 Gambar 1* dan mengikuti ketentuan dibawah ini :

- a. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

- b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

$T_0$  =  $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

$T_s$  =  $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

8. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respons (R) sesuai dengan *SNI 1726-2012 Tabel 9*.

9. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V) sesuai dengan *SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1*

$$V = C_s \times W$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

10. Menghitung Distribusi vertikal gaya gempa sesuai dengan *SNI 1726-2012 Pasal 7.8.3*

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k}$$

Sehingga,

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \times V$$

11. Menghitung Pusat Massa, Pusat Kekakuan dan Eksentrisitas
12. Menghitung Besarnya Gaya Gempa setiap kolom sesuai dengan eksentrisitas
13. Input ke dalam SAP 2000 Gaya Gempa per kolom

### 3.4 Analisis Struktur

Dalam perhitungan struktur bangunan menggunakan analisis Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan menggunakan program software SAP 2000. Dalam SAP 2000 komponen-komponen struktur gedung dimodelkan seperti balok, kolom, sloof, pelat lantai, tangga, atap dan pondasi. Selain itu, pada dasar perletakan permodelan struktur bangunan menggunakan perletakan jepit. Untuk perencanaan gempa dengan cara analisis pembebanan dengan menggunakan pembebanan gempa “Statik Ekuivalen”

### 3.5 Analisis Gaya Dalam

Gaya dalam adalah gaya-gaya yang muncul pada suatu elemen struktur akibat dari munculnya beban yang diterima oleh elemen struktur. Gaya dalam yang menyebabkan pelenturan adalah gaya momen. Komponen struktur yang menerima gaya tegak lurus dengan arah sumbu batang adalah gaya lintang. Sedangkan komponen struktur yang menerima gaya searah dengan sumbu batang adalah gaya normal.

Nilai – nilai gaya dalam didapatkan dari program SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan untuk metoda ultimit sesuai dengan *SNI 1727 – 2013 Pasal 2.3.2* sebagai berikut :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau S atau R)
3. 1,2 D + 1,6(Lr atau S atau R) + (L atau 0,5W)

4.  $1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5.  $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L + 0,2 S$
6.  $0,9 D + 1,0 W$
7.  $0,9 D + 1,0 E$

Kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin (untuk perencanaan pondasi) *SNI 1727 – 2013 Pasal 2.4.1* sebagai berikut :

1.  $D$
2.  $D + L$
3.  $D + L (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
4.  $D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5.  $D + (0,6W \text{ atau } 0,7 E)$
6.  $D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7 E) + 0,75L + ,75(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
7.  $0,6D + 0,6W$
8.  $0,6D + 0,7E$

### 3.6 Perhitungan Penulangan Struktur

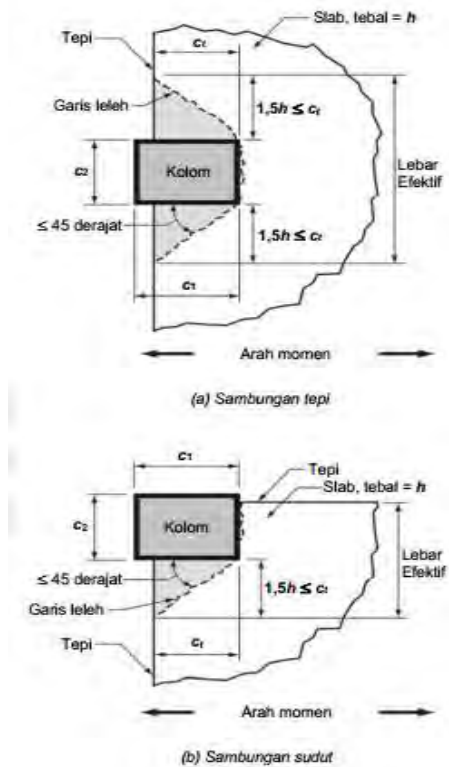
#### 3.6.1 Penulangan Struktur Sekunder

##### 3.6.1.1 Pelat Lantai

- Momen slab terfaktor pada tumpuan termasuk pengaruh gempa,  $E$ , harus ditentukan untuk kombinasi beban yang diberikan dalam persamaan ( $U = 1,2D + 1E + 1L$  dan  $U = 0,9D + 1E$ ). Tulangan yang disediakan untuk menahan  $M_{slab}$  harus ditempatkan dalam lajur kolom yang didefinisikan dalam Pasal 13.2.1 (Gambar S21.3.6.1). (*SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.1*)
- Tulangan yang ditempatkan dalam lebar efektif yang ditetapkan dalam 13.5.3.2 harus diproporsikan untuk menahan  $\gamma_f M_{slab}$ . Lebar slab efektif untuk sambungan eksterior dan sudut tidak boleh menerus melewati muka kolom jarak lebih besar dari  $c_t$  yang diukur tegak lurus terhadap bentang slab (Gambar S21.3.6.1). (*SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.2*)
- Tidak kurang dari setengah tulangan pada lajur kolom di tumpuan harus ditempatkan dalam lebar slab efektif yang

diberikan dalam 13.5.3.2 (Gambar S21.3.6.1). (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.3)

- Tidak kurang dari seperempat tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom harus menerus sepanjang bentang. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.4)
- Tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang dari sepertiga tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.5)
- Tidak kurang dari setengah dari semua tulangan lajur tengah bawah dan semua tulangan lajur kolom bawah di tengah bentang harus menerus dan harus mengembangkan  $f_y$  di muka tumpuan seperti di definisikan dalam 13.6.2.5. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.6)
- Pada tepi slab yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada tumpuan harus disalurkan di muka tumpuan seperti di definisikan dalam 13.6.2.5. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.7)
- Pada penampang kritis untuk kolom yang didefinisikan dalam 11.11.1.2, geser dua arah yang diakibatkan oleh beban gravitasi terfaktor tidak boleh melebihi  $0,4\phi V_c$ , dimana  $V_c$  harus dihitung seperti di definisikan dalam 11.11.2.1 untuk slab bukan prategang dan dalam 11.11.2.2 untuk slab prategang. Di ijin untuk mengabaikan persyaratan ini jika desain slab memenuhi persyaratan dari 21.13.6. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.6.8)



Gambar 3: Lebar efektif untuk penempatan tulangan pada sambungan tepi dan sudut  
(Sumber : SNI 2847-2013, Gambar S21.3.6.1)

## Perencanaan penulangan pada pelat lantai

### 1. Analisis struktur pelat

Rasio kekakuan balok terhadap plat :

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} > 1$$

(Sumber : SNI 2847 – 2013, Pasal 13.3.6)

Keterangan :

- $E_{cn}$  : Modulus elastisitas balok beton

- $E_{cp}$  : Modulus elastisitas pelat beton
- $I_b$  : Momen Inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
- $I_p$  : Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto plat

## 2. Perhitungan momen – momen yang terjadi pada pelat

- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$   
(SNI 2847–2013, Pasal 10.5.1)
- $\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$   
(SNI 2847–2013, Lampiran Pasal B8.4.2)
- $\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$   
(SNI 2847–2013, Lampiran Pasal B10.3.3)
- $m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$   
(Wang, C. Salmon hal.55 pers 3.8.4.a)
- $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$   
(Wang, C. Salmon hal.55 pers 3.8.4.a)

Bila  $\rho_{perlu} < \rho_{min}$  maka  $\rho_{perlu}$  dinaikan 30 %, Sehingga ;

- $\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$
- $A_s = \rho_{perlu} \times b \times d$

Bila  $\rho_{perlu} > \rho_{min}$  maka dimensi pelat diperbesar

## 3. Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 13.3.2

- $S_{max} < 2 \cdot h$

Keterangan :  $h$  = Tinggi plat

$S_{max}$  = Jarak maksimum tulangan

#### 4. Kontrol Tulangan Susut dan suhu

Berdasarkan SNI 2847 – 2013, Pasal 7.12.2.1 Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014 :

*Tabel 4 : Rasio tulangan susut dan suhu*

		Rasio tulangan minimum terhadap luas bruto
a	Slab yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350	0,0020
b	Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420	0,0018
c	Slab yang menggunakan tulangan	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

#### 5. Kontrol jarak spasi antar tulangan susut dan suhu

Berdasarkan SNI 2847 -2013, Pasal 13.3.2) Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal slab, atau tidak lebih jauh dari 450 mm

##### 3.6.1.2 Pelat Tangga

Langkah-langkah dalam perencanaan penulangan pada pelat tangga sama dengan pada perencanaan penulangan pada pelat lantai.

### 3.6.2 Penulangan Struktur Primer

#### 3.6.2.1 Balok

- Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint. (*SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1*)
- Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari **2h** dukur dari muka komponen struktur penumpu kearah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi tulangan tidak boleh lebih kecil dari :
  - a. **d/4**
  - b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
  - c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
  - d. 300 mm
 (*SNI 03-2846-2013, Pasal 21.3.4.2*)
- Sengkang harus dipastikan tidak lebih dari **d/2** sepanjang panjang balok. (*SNI 03-2846-2013, Pasal 21.3.4.3*).

#### 1. Perhitungan penulangan lentur

- a) Menentukan momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program SAP 2000.
- b) Perhitungan Penulangan lentur Balok:
  - $d = bw - \text{decking} - \varnothing \text{sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{tul. utama}$
  - $d' = \text{decking} + \varnothing \text{sengkang} + \frac{1}{2} \varnothing \text{tul. utama}$
  - $M_n = \frac{M_u}{\phi}$
 (*SNI 2847-2013, Pasal 22.5.1*)



- $\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c''}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$   
(SNI 2847-2013, Lampiran B8.4.2)
- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$   
(SNI 2847-2013, Lampiran B 10.3.3)
- $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$   
(SNI 2847-2013, Pasal 22.5.1)
- $m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$   
(Wang, C. Salmon hal.55 pers 3.8.4.a)
- $\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$   
(Wang, C. Salmon hal.55 pers 3.8.4.a)
- Hitung  $x \leq 0,75 x_b$
- $x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$
- $Asc = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x}{f_y}$
- $Mnc = Asc \cdot F_y$
- $Mns = Mn - Mnc = \frac{Mu}{\phi} - Mnc$

#### Cek Tulangan Tunggal/Rangkap

- Jika  $(Mn - Mnc) > 0$ , maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$Cs' = T_2 = \frac{Mn - Mnc}{d - d''}$$

$$fs' = \left( \frac{x - d''}{x} \right) \cdot 600$$

Jika  $fs' > f_y$ , maka tulangan tekan leleh

Jika  $fs' = f_y$ , maka tulangan tekan

Jika  $fs' < f_y$ , maka tulangan tekan tidak leleh

Tulangan tekan perlu ( $As'$ ) =  $\frac{Cs'}{(fs' - 0,85 \cdot f_c')}$

$$\text{Tulangan Tarik tambahan (Ass)} = \frac{T_2}{f_y}$$

- Jika  $(M_n - M_{nc}) < 0$ , maka tidak perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

Jika  $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$  maka  $\rho \text{ perlu}$  dinaikan 30 %, Sehingga ;

$\rho \text{ pakai} = 1,3 \times \rho \text{ perlu}$

$A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times d$

Jikap  $\rho \text{ perlu} > \rho \text{ min}$  maka dimensi balok diperbesar.

- Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$A_s = A_s'$$

- Kontrol jarak spasi tulangan sesuai *SNI 2847-2013, Pasal 7.6.2*

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{tul sengkang}}) - (n \times \phi_{\text{tul sengkang}})}{n-1}$$

Dimana :  $s \geq 25 \text{ mm}$

- Kontrol kekuatan sesuai *SNI 2847-2013, Pasal 22.5.1*

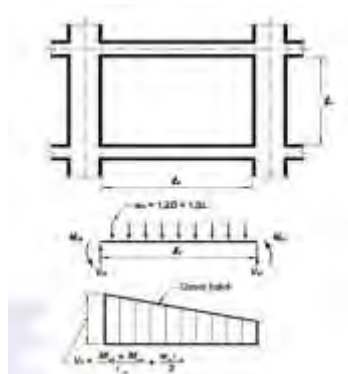
$$\phi M_n \geq M_u$$

## 2. Perhitungan penulangan geser

- Penentuan  $V_u, V_c, V_s$ , dan  $V_s$

Berdasarkan *SNI2847 – 2013Pasal 21.3.2* gaya lintang maksimum yang didapatkan dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa (E),dimana E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa

$$W_u = 1,2 D + 1,0 L$$



Gambar 4 : Geser Desain untuk rangka momen menengah  
(Sumber SNI 03 -2847 -2013; Gambar S21.3.3)

$$Vu = \frac{Mnr + Mnl}{Ln} + \frac{Wu \cdot Ln}{2}$$

Keterangan :

$V_u$  : gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai

$M_{nl}$  : Momen nominal penampang kiri

$M_{nr}$  : Momen nominal penampang kanan

$W_u$  : beban terfaktor per unit luas

$L_n$  : bentang balok

Nilai  $\sqrt{f'c'}$  yang digunakan dalam pasal ini tidak boleh melebihi 8,3 MPa, kecuali seperti 11.1.2.1. (SNI 03 – 2847 -2013,Pasal 11.1.2)

Perhitungan kuat geser beton yang dibebani oleh geser :

- $\phi V_u \geq V_n$   
 $V_n = V_c + V_s$   
 (SNI 2847 – 2013 Pasal 11.1.1)
- $V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'c'} \text{ bw. d}$   
 (SNI 2847 – 2013 Pasal 11.2.1.1)

- $V_s \min = \frac{1}{3} \times b_w \times d$   
(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.4.6)
- $V_s \max = 0,66\sqrt{f'c'} b_w.d$   
(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.4.5.3)
- $V_s = \frac{A_v.f_y.d}{s}$   
(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.4.7.2)
- $A_v = 0,062\sqrt{f'c'} \frac{b_w.s}{f_{yt}}$   
(SNI 2847 – 2013 Pasal 11.4.6.3)

### **Kontrol kondisi**

- Kondisi 1  
 $V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$   
 (Tidak perlu tulangan geser)
- Kondisi 2  
 $0,5 \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi \cdot V_c$   
 (Perlu tulangan geser minimum)  

$$A_{v \min} = \frac{0,35 \cdot S}{f_y}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$
- Kondisi 3  
 $\phi \cdot V_c < V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_s \min)$   
 (Perlu tulangan geser minimum)  

$$A_{v \min} = \frac{0,35 \cdot S}{f_y}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$
- Kondisi 4  

$$\phi \cdot (V_c + V_s \min) < V_u \leq \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \right)$$
  
 (Perlu tulangan geser)  

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$

e. Kondisi 5

$$\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right) < V_u$$

$$\leq \phi \left( V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$$

(Perlu tulangan geser)

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$

f. Kondisi 6

$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \text{ (Perbesar penampang)}$$

Keterangan :

$V_n$  : Tegangan geser nominal

$V_c$  : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$V_s$  : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

$A_v$  : Luas tulangan geser

### 3. Perhitungan penulangan torsi

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 11.5.1* Pengaruh torsi boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari :

1. Untuk komponen non – prategang

$$\phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Harga kekuatan nominal desain  $T_n$  harus paling sedikit ekuivalen dengan  $T_u / \phi$  berfaktor, dengan memproporsikan penampang tersebut sehingga:

1. Untuk penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c'}\right)$$

Jika ketebalan dinding kurang dari  $A_{oh}/\Phi$ , suku kedua perumusan diambil sebesar  $T_u/(1,7 A_{oh})$ .

Pilih sengkang tertutup torsi perlu untuk digunakan sebagai tulangan transversal sehingga :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot v \cot \theta}$$

#### 4. Perhitungan panjang penyaluran tulangan

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*

- Panjang penyaluran ( $I_d$ ), dinyatakan dalam diameter  $d_b$ . Nilai  $I_d$  tidak boleh kurang dari 300 mm
- Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai  $I_d/I_b$  harus diambil sebagai berikut :

*Tabel 5 : Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir*

Keadaan Bentang	Batang D – 19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D – 22 atau lebih besar
Spasi bersih batang – batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang disepanjang $I_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum atau spasi bersih batang – batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang	$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}}\right) d_b$

dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$		
Kasus – kasus lain	$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

Untuk batang tulangan ulir atau kawat ulir  $I_d$  harus sebesar :

$$I_d = \left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_s}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dimana ruas pengekanan  $(C_b + K_{tr}) / d_b$  tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan :

$$K_{tr} = \frac{40 A_v}{s n}$$

Dimana  $n$  adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan  $K_{tr} = 0$  sebagai penyederhanaan desain meskipun terdapat tulangan transversal.

### 3.6.2.2 Sloof

#### 1. Perhitungan Tulangan Lentur

- Mencari nilai momen ultimate kanan dan kiri beserta gaya tarik ( $N_u$ ) dari 10% gaya aksial pada kolom kanan atau kiri
- Hitung  $M_n$   

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$
- Mencari nilai  $\rho_t$  dari diagram interaksi, dengan menghitung  $\frac{M_u}{b \cdot h^2}$  dan  $\frac{N_u}{b \cdot h}$
- Hitung  $A_{st} = \rho_t \cdot b \cdot h$
- Cek perencanaan

$$\alpha = \frac{A_s \text{ pasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$M_{npasang} = 0,85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \cdot \left( d_{pasang} - \frac{\alpha}{2} \right) \geq M_n$$

- Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{bw - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ tul sengkang}) - (n \text{ tul sengkang})}{n-1}$$

Dimana :  $s \geq 25 \text{ mm}$

## 2. Perhitungan Geser Sloof

Kontrol kondisi

- a. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c$$

(Tidak perlu tulangan geser)

- b. Kondisi 2

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c < V_u \leq \emptyset \cdot V_c$$

(Perlu tulangan geser minimum)

$$A_{v \min} = \frac{0,35 \cdot S}{f_y}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$

- c. Kondisi 3

$$\emptyset \cdot V_c < V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_s \min)$$

(Perlu tulangan geser minimum)

$$A_{v \min} = \frac{0,35 \cdot S}{f_y}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$

- d. Kondisi 4

$$\emptyset \cdot (V_c + V_s \min) < V_u \leq \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \right)$$

(Perlu tulangan geser)

$$\emptyset V_s \text{ perlu} = V_u - \emptyset V_c$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$



e. Kondisi 5

$$\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right) < V_u$$

$$\leq \phi \left( V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$$

(Perlu tulangan geser)

$$\phi V_s \text{ perlu} = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$S \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S \text{ maks} \leq 600 \text{ mm}$$

f. Kondisi 6

$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

(Perbesar penampang)

Keterangan :

$V_n$  : Tegangan geser nominal

$V_c$  : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$V_s$  : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

### 3. Perhitungan Panjang Penyaluran

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 12.2*

- Panjang penyaluran ( $I_d$ ), dinyatakan dalam diameter  $d_b$ . Nilai  $I_d$  tidak boleh kurang dari 300 mm
- Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai  $I_d/I_b$  harus diambil sebagai berikut :
- 

*Tabel 6 : Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir*

	Batang D – 19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D – 22 atau lebih besar
Spasi bersih batang – batang yang disalurkan atau	$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

disambung tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang disepanjang $I_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum atau spasi bersih batang – batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$		
Kasus – kasus lain	$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_o}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

Untuk batang tulangan ulir atau kawat ulir  $I_d$  harus sebesar :

$$I_d = \left( \frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \cdot \Psi_e \cdot \Psi_s}{\left( \frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dimana ruas pengekanan  $(C_b + K_{tr}) / d_b$  tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan :

$$K_{tr} = \frac{40 A_v}{s_n}$$

Dimana  $n$  adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan  $K_{tr} = 0$  sebagai penyederhanaan desain meskipun terdapat tulangan transversal.

### 3.6.2.3 Kolom

- Kolom harus ditulangi secara spiral sesuai dengan 7.10.4 atau harus memenuhi 21.3.5.2 hingga 21.3.5.4 subpasal

21.3.5.5 berlaku untuk semua kolom, dan 21.3.5.6 berlaku untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.1)

- Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi  $s_0$  sepanjang panjang  $l_0$  diukur dari muka joint.  
(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.2)
- Sengkang tertutup pertama ditempatkan tidak lebih dari  $s_0/2$  dari muka joint. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.3)
- Diluar panjang  $l_0$ , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.1. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.4)
- Tulangan transversal joint harus memenuhi 11.10. (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.5)
- Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi,  $s_0$ . Seperti didefinisikan dalam 21.3.5.2 sepanjang tinggi penuh dibawah tingkat-dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi ( $A_g f'_c / 10$ )(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.5.6).

### **Perhitungan Penulangan Kolom :**

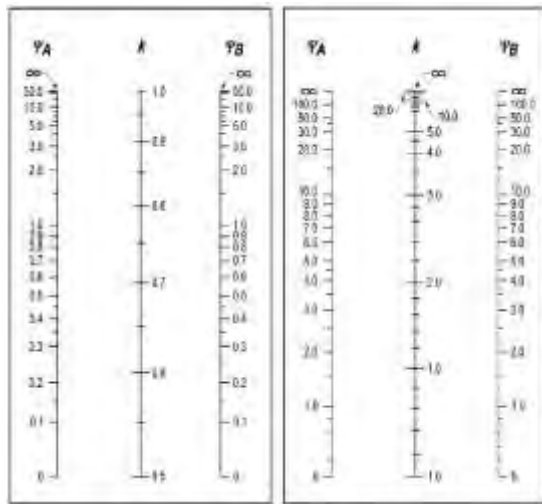
- a) Syarat Gaya Aksial Pada Kolom  
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 Gaya tekan aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi  $A_g \cdot f'_c / 10$  dan Bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5(Ketentuan Kolom untuk SRPMM)
- b) Faktor kekakuan kolom ( $E_i$ )  
Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 10.10.6.1

$$E_i = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta d}$$

- c) Faktor kekangan ujung kolom atas dan bawah ( $\Psi_a$  dan  $\Psi_b$ )  
Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7

$$\Psi = \frac{\sum \left( \frac{EI}{\lambda} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left( \frac{EI}{\lambda} \right)_{\text{balok}}}$$

- d) Hitung faktor panjang efektif ( $k$ )  
Dalam penerapan dipergunakan nomogram seperti berikut :



Gambar 5 : Faktor Panjang efektif  $k$

(Sumber : SNI 2847-2013, Gambar S10.10.1.1)

- e) Kontrol kelangsingan
1. Untuk komponen struktur tekan yang tidak dibreising terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22$$

2. Untuk komponen struktur tekan yang dibreising terhadap goyangan menyamping :

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

Dimana :

$$r = 0,3 h$$

M1 = momen terkecil ujung kolom

M2 = momen terbesar ujung kolom

- f) Beban Kritis (Pc)

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 10.10.6

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(k \times L_u)^2}$$

- g) Faktor Cm

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 10.10.6.4

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2}$$

- h) Pembesaran Momen

- Pembesaran momen tidak bergoyang

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 10.10.6 Komponen struktur tekan harus didesain untuk gaya aksial terfaktor Pu dan momen terfaktor yang diperbesar untuk pengaruh kurvatur komponen struktur Mc dimana:

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_c}} \geq 1$$

- Pembesaran momen bergoyang

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 10.10.7-Momen M1 dan M2 di ujung komponen struktur individu harus diambil sebesar:

a.  $M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$

b.  $M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$

- i) Perhitungan penulangan lentur

- Tentukan nilai  $\beta$
- Nilai  $M_{ux}$  dan  $M_{uy}$  (nilai terbesar dari  $M_1$  dan  $M_2$ )
- $\frac{P_u}{A_g}$  dan  $\frac{\phi M_{ox}}{A_g \cdot h}$   
 $\rho$  perlu didapatkan melalui diagram interaksi
- $A_s = \rho \text{ perlu} \times b \times h$
- Kontrol kemampuan kolom

$$\left( \frac{M_{ny}}{M_u} \right)^a + \left( \frac{M_{ny}}{M_u} \right)^a \leq 1$$

$$M_n^0 \geq \frac{M_u}{\phi}$$

j) Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$  → susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}}$  → perbesar penampang kolom

$$S_{\max} = \frac{b - (2 t_{\text{selimut}}) - (2 \phi_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

k) Perhitungan penulangan geser

- Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5*

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

Dimana :

$M_{nt}$  = Momen nominal atas (top) kolom

$M_{nb}$  = Momen nominal bawah (bottom) kolom

- Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ ):  
 Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa  
*(SNI 2847-2013)*

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

- Kekuatan geser pada beton :  
 Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.2*

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

- Kuat geser tulangan geser :

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

- Cek kondisi penulangan geser :

Kondisi 1 :

$$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tidak Perlu Tulangan Geser})$$

Kondisi 2 :

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tulangan Geser Minimum})$$

Kondisi 3 :

$$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow (\text{Perlu Geser Minimum})$$

Kondisi 4 :

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

Kondisi 5 :

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 \cdot V_{s_{\max}}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

#### l) Cek Persyaratan SPRMM Untuk Kekuatan Geser Kolom

- 1). Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $L_o$  dari muka hubungan balok-kolom  $S_o$ .
- 2). Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 \times S_o$  dari muka hubungan balok kolom.
- 3). Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o$

#### m) Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1 ,panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times db$ , untuk  $f_y = 400$  Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

n) Panjang penyaluran tulangan kolo

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3

### 3.6.3 Penulangan Struktur Bawah

#### 3.6.1.1 Pondasi

Langkah-langkah dalam perencanaan penulangan pondasi sebagai berikut:

1. Mengetahui data-data perencanaan
2. Perhitungan daya dukung tanah

Dalam buku karangan *Anugrah pamungkas dan Erny Harianti dalam bukunya Desain Pondasi Tahan Gempa*, didapat rumus daya dukung tanah dengan menggunakan Metode Meyerhoff.

$$P_a = \left( \frac{q_c \times A_p}{FK_1} \right) + \left( \frac{\sum l_i f_i \times A_{st}}{FK_2} \right)$$

Dimana :

$P_a$  = Daya dukung ijin tiang

$Q_c$  = 20 N, untuk silt/clay dan 40 N, untuk sand

N = Nilai N SPT

$A_p$  = Luas penampang tiang

$A_{st}$  = Keliling penampang tiang

$l_i$  = Panjang segmen tiang yang ditinjau

$f_i$  = Gaya geser pada selimut segmen tiang

N maksimum 12 ton /m<sup>2</sup>, untuk silt/clay

N/5 maksimum 10 ton/m<sup>2</sup>, untuk sand

FK1,FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

- FK1 = 3

- FK2 = 5



### 3. Perencanaan kebutuhan tiang pancang

Mengetahui gaya dalam aksial dari output program SAP, dengan kombinasi pembebanan yang telah di input sebelumnya dan kombinasi yang digunakan merupakan kombinasi ijin, yaitu :

- D
- D + L
- D + (Lr atau R)
- D + 0,75L + 0,75(Lr atau R)
- D + (0,6W atau 0,7E)
- D + 0,75 (0,6W atau 0,7E) + 0,75L + 0,75 (Lr atau R)
- 0,6D + 0,6W
- 0,6D + 0,7W

Kemudian dipakai gaya aksial yang terbesar (Pmax) dari kombinasi-kombinasi pembebanan ijin diatas yang belum ditambahkan dengan berat sendiri poer, maka jumlah tiang pancang (n) :

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin}}}$$

### 4. Perencanaan Tiang Pancang

Berdasarkan buku karangan *Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2* disebutkan bahwa :

- a. Perhitungan jarak antar pondasi (s):  
 $2,5D \leq s \leq 3D$
  - b. Perhitungan jarak pondasi ke tepi poer (s'):  
 $1,5D \leq s' \leq 2D$
- Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan dimensi pada poer, panjang dan lebarnya.

### 5. Perencanaan kelompok tiang pancang perhitungan pile berdasarkan efisiensi

Dalam buku karangan *Joseph E. Bowies dalam bukunya Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2*

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n}$$

Dimana :

$$\theta = \arctan \frac{D}{S}$$

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

$$P_{\text{ijin tanah}} = (\eta) \times Q_{\text{ijin}}$$

$$P_{\text{ijin tanah total}} = \text{jumlah tiang} \times P_{\text{ijin}}$$

- Gaya yang dipikul tiang pancang

$$P_{\text{1 tiang pancang}} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum y^2}$$

- Kontrol tiang pancang

$$P_{\max} \leq P_{\text{ijin}}$$

$$P_{\min} \leq P_{\text{ijin}}$$

$$P_{\max} \leq P_{\text{group tiang}}$$

#### 6. Perhitungan tebal poer

Reaksi perlawanan tanah ( $q_t$ )

$$q_t = \frac{P_{\text{ijin tanah total}}}{\text{luasan poer}}$$

Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya).

- Kontrol geser pons poer

Untuk merencanakan tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana  $V_c$  diambil dari persamaan berikut :

- Geser satu arah pada poer

- Tentukan beban poer ( $q_t$ ) =  $\frac{P}{\text{Luas poer}}$

- Menentukan luasan akibat geser satu arah poer

- Kontrol tebal poer (d)

- $\sigma_u = \frac{\sum P}{A}$
- $V_u = \sigma_u \times (\text{luas total poer-luas pons})$
- Kontrol perlu tulangan geser
  - $\phi V_c > V_u$  (Tidak perlu tulangan geser)
  - $\phi V_c < V_u$  (Perlu tulangan geser)
  - Jika  $\phi V_c < V_u$  (Perlu tulangan geser), maka dimensi poer diperbesar
- b. Geser dua arah pada poer  
 Kontrol kemampuan beton berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 11.1.2.1 (a)(b)(c)*

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d$$

$$V_c = 0,083 \left( \frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d$$

Dimana  $\alpha_s$  adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut.

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d$$

Dimana :

$B_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$b_0$  = keliling dari penampang kritis

$b_0 = 4(0,5d + b \text{ kolom} + 0,5d)$

## 7. Perencanaan Penulangan Pile cap

- a. Rencanakan tinggi poer
- b. Tentukan momen terjadi:
 
$$M_u = (P \cdot x) - \left( \frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2 \right)$$
- c. Hitung penulangan
  - $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$   
*(SNI 2847-2013, Pasal 10.5.1)*
  - $\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$

(SNI 2847–2013, Lampiran Pasal B8.4.2)

- $\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$   
(SNI 2847–2013, Lampiran Pasal B10.3.3)

- $m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$   
(Wang, C. Salmon hal.55 pers 3.8.4.a)

- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$   
(Wang, C. Salmon hal.55 pers 3.8.4.a)

- $A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

Panjang penyaluran tulangan kolom

- Tulangan kondisi tarik berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 12.2.2

$$\left( \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) d_b \geq 300 \text{ mm}$$

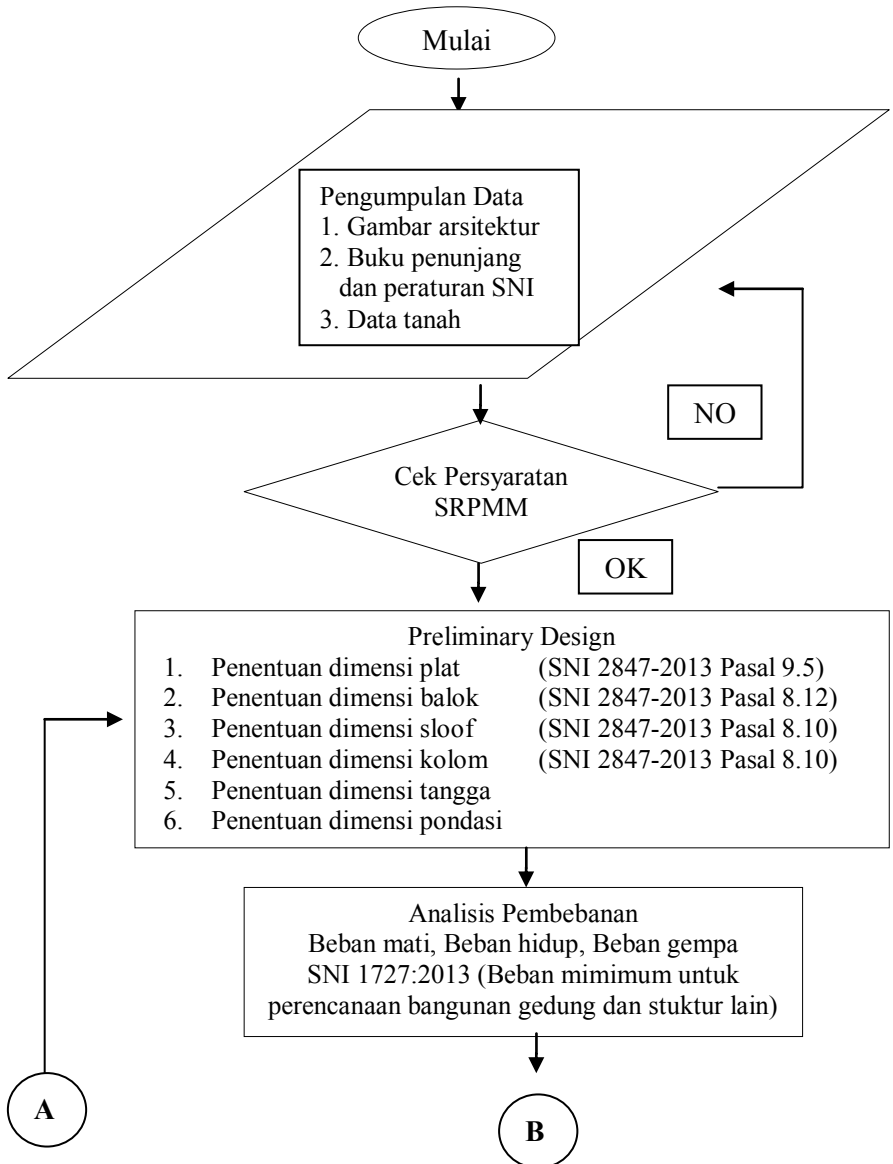
### 3.7 Gambar Perencanaan

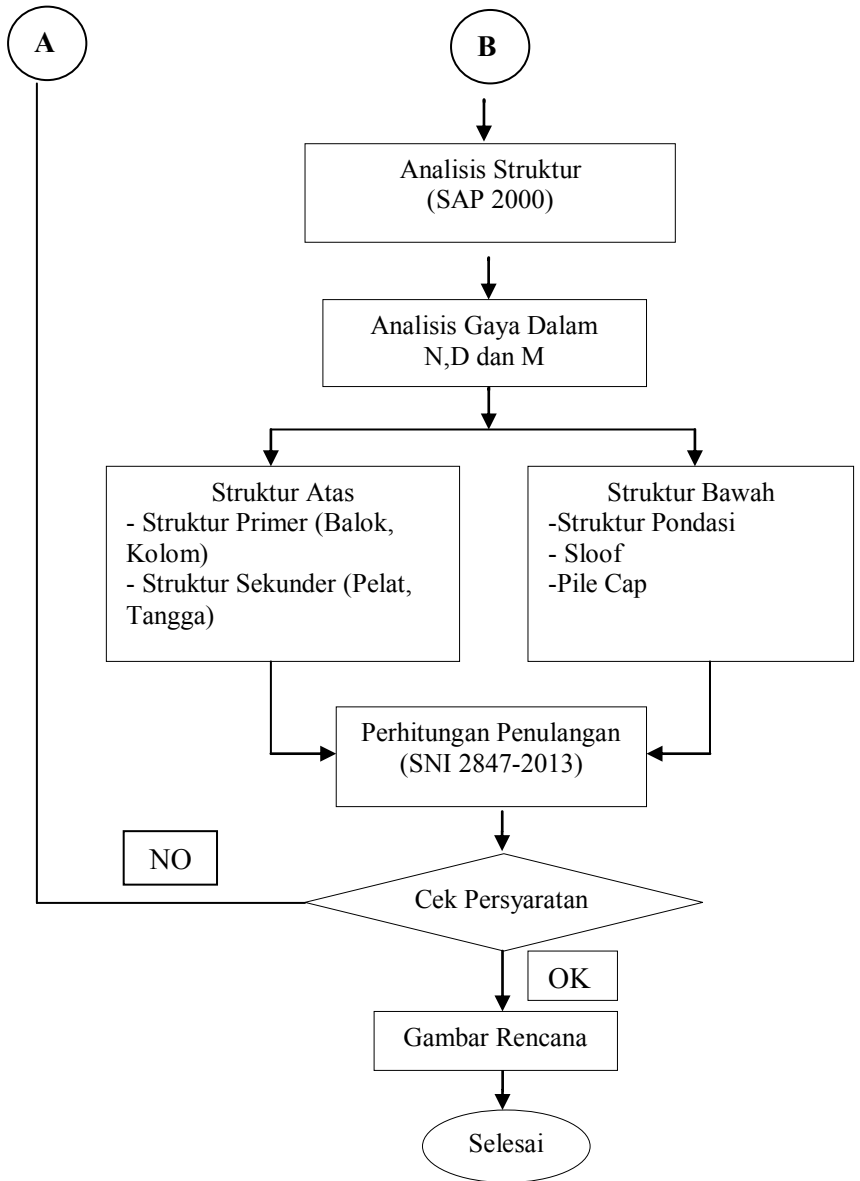
- A. Gambar Arsitektur
  - a. Gambar Denah
  - b. Gambar Tampak
- B. Gambar Struktural
  - a. Gambar Potongan
    - Potongan memanjang
    - Potongan melintang
  - b. Gambar denah
    - Balok
    - Kolom
    - Pelat
    - Sloof
    - Atap
    - Pondasi
  - c. Gambar Penulangan
    - Gambar penulangan balok

- Gambar penulangan kolom
  - Gambar penulangan pelat
  - Gambar penulangan sloof
  - Gambar penulangan tangga
  - Gambar penulangan pondasi
- d. Gambar Detail Panjang penyaluran
- Panjang penyaluran balok
  - Panjang penyaluran kolom
  - Panjang penyaluran pelat
  - Panjang penyaluran sloof
  - Panjang penyaluran tangga
  - Panjang penyaluran pondasi

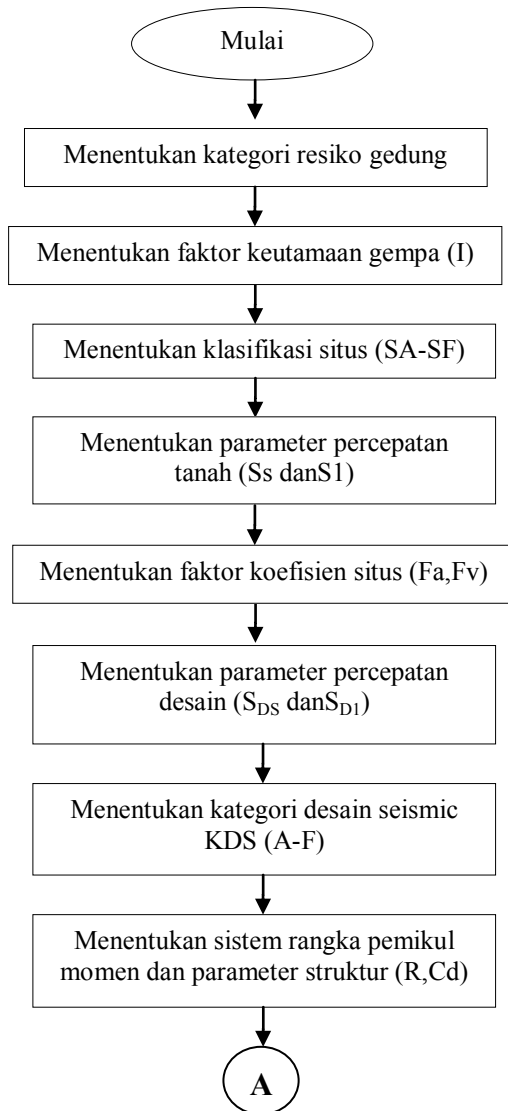
### 3.8 Flow Chart

#### 3.8.1 Langkah-langkah Perencanaan Struktur Bangunan

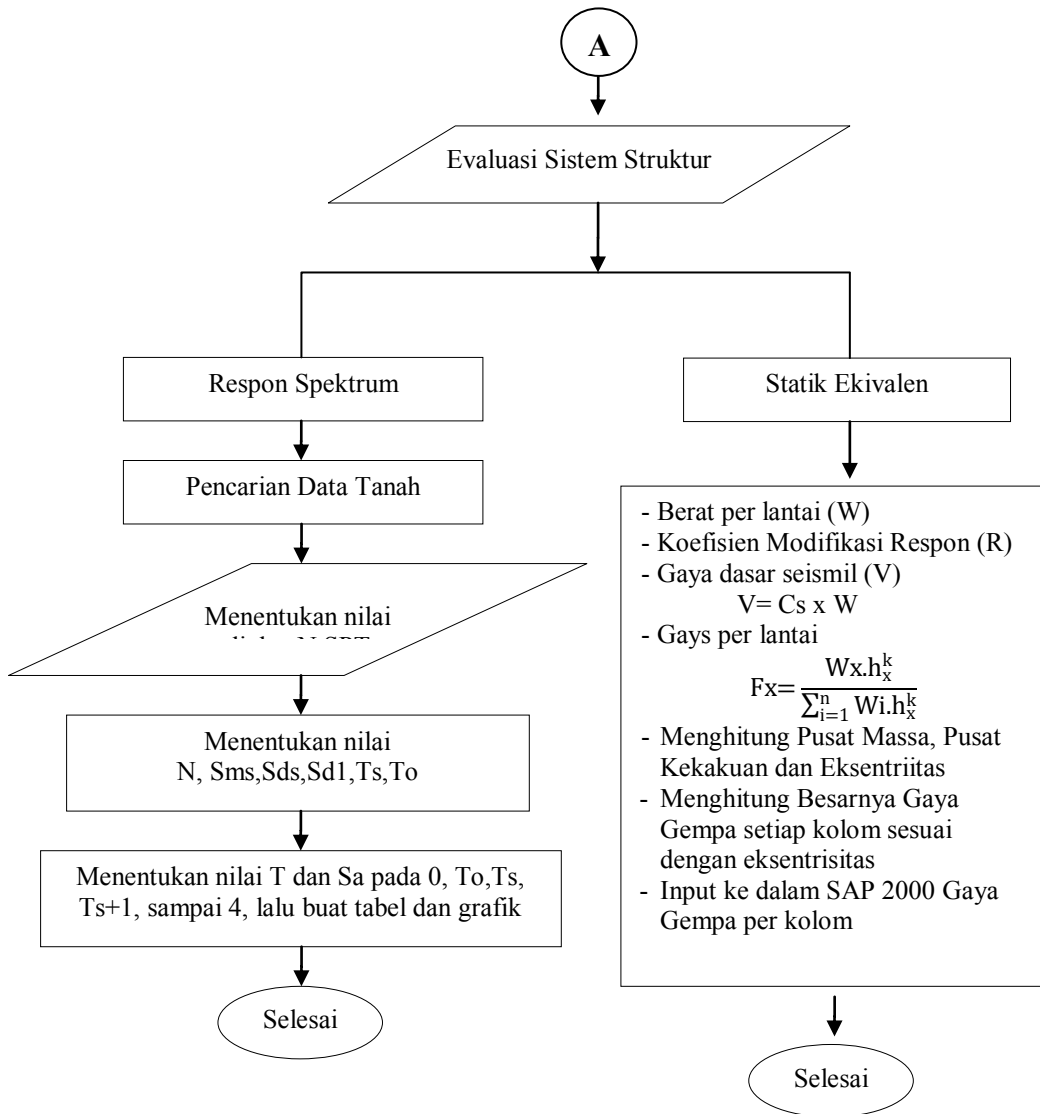




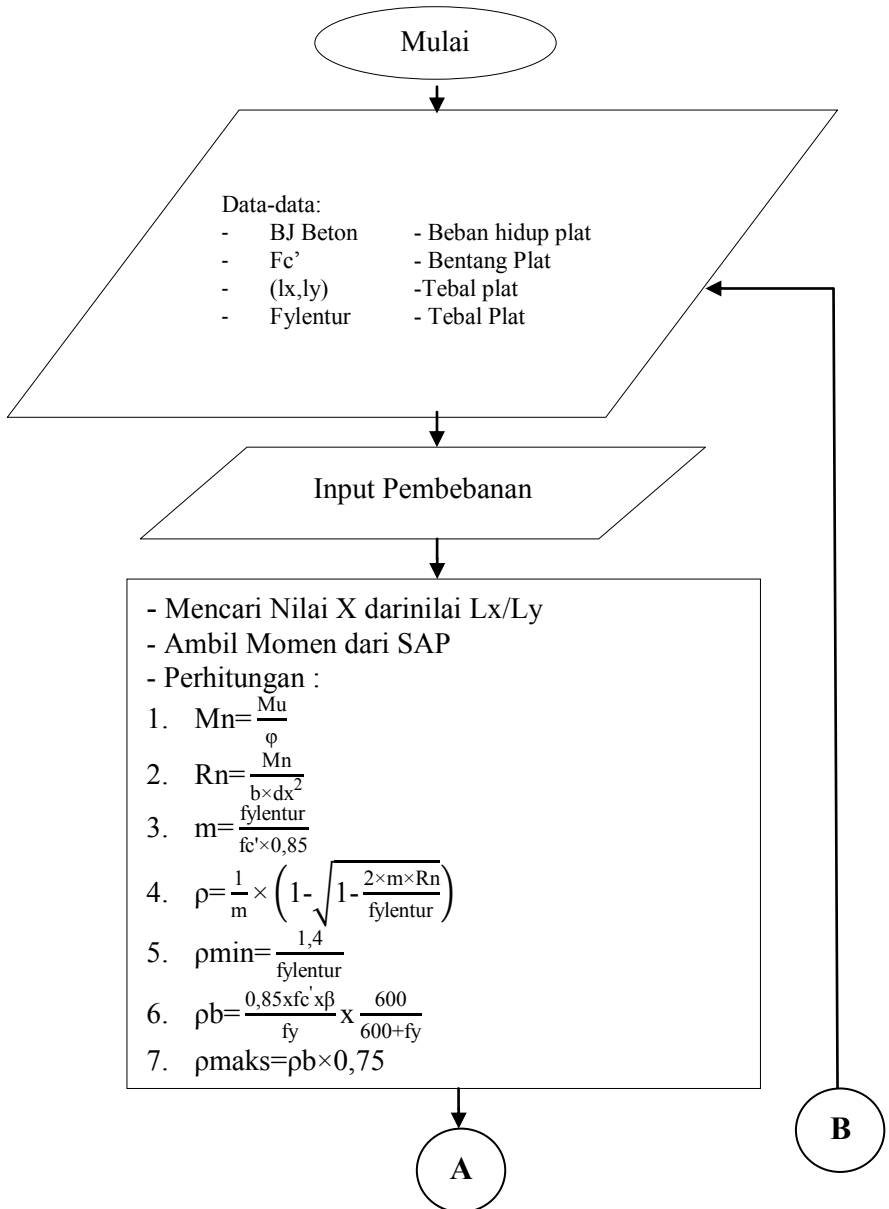
### 3.8.2 Gempa

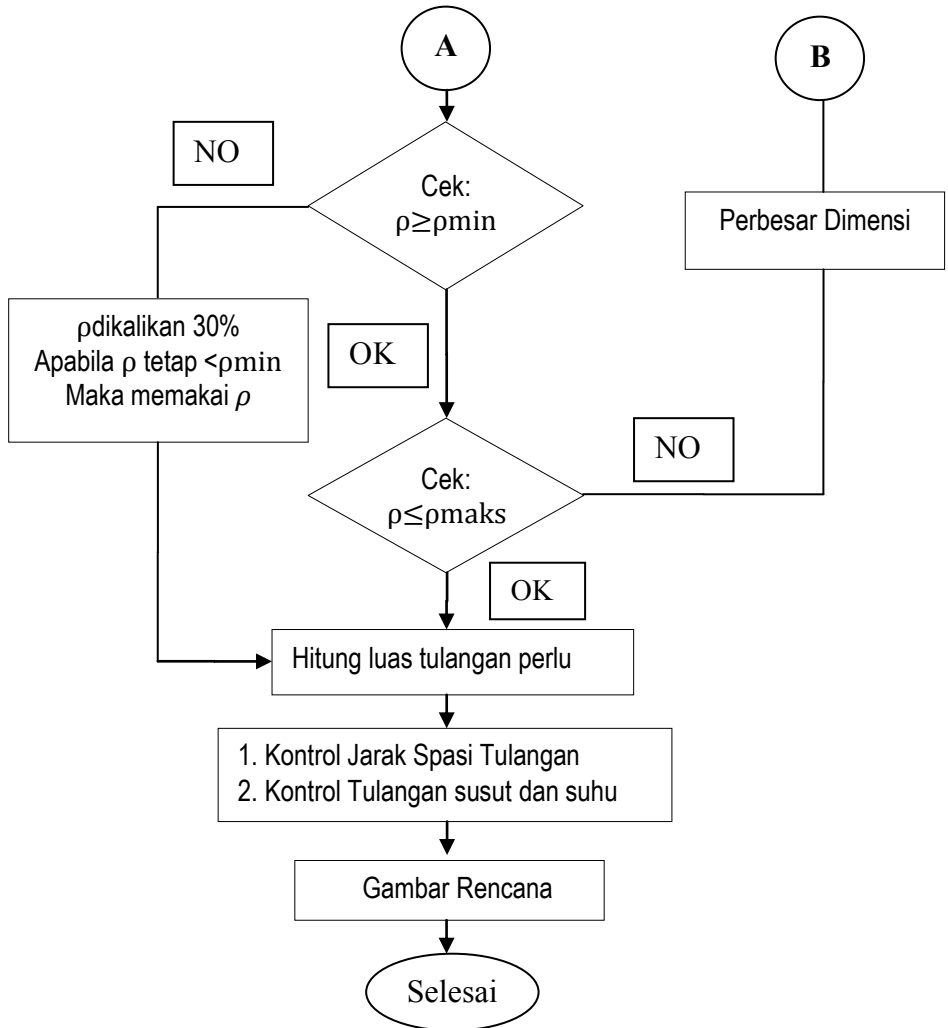




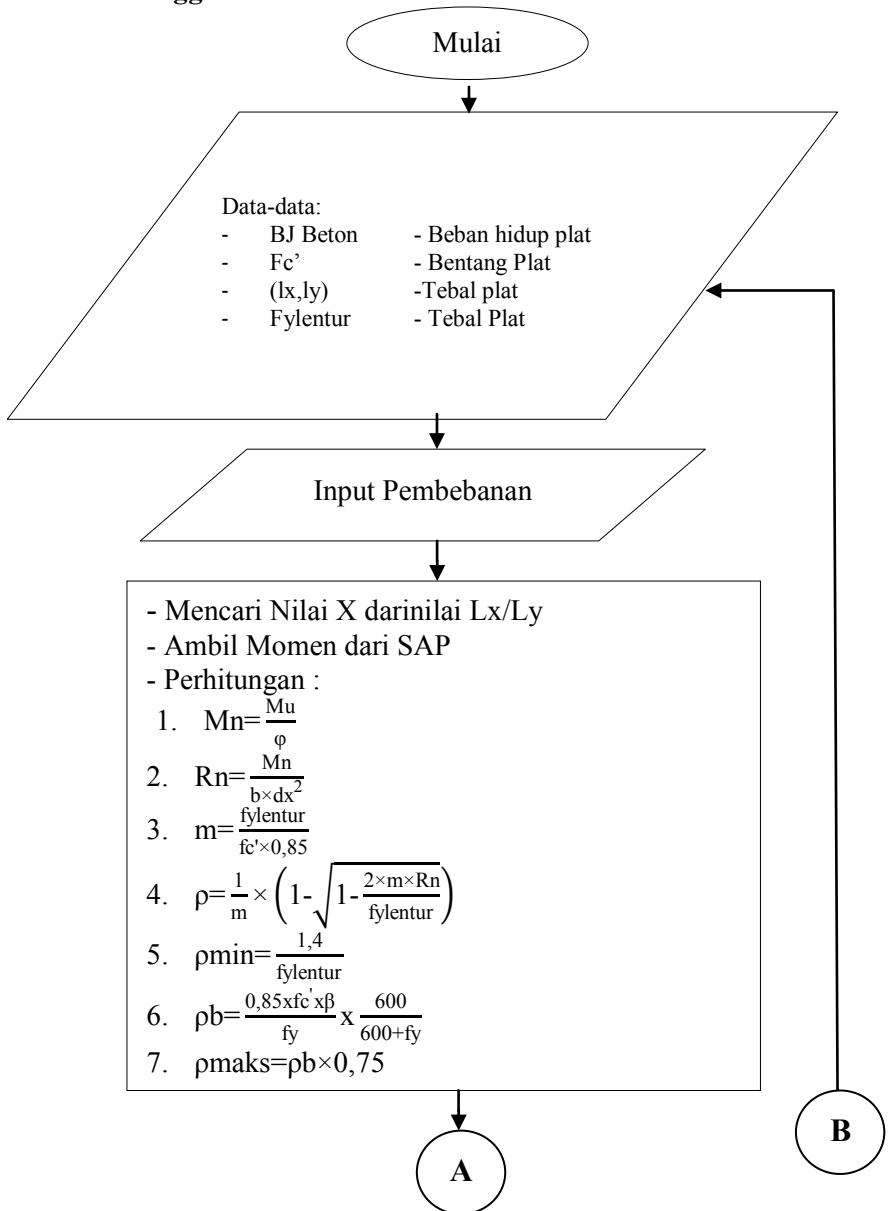


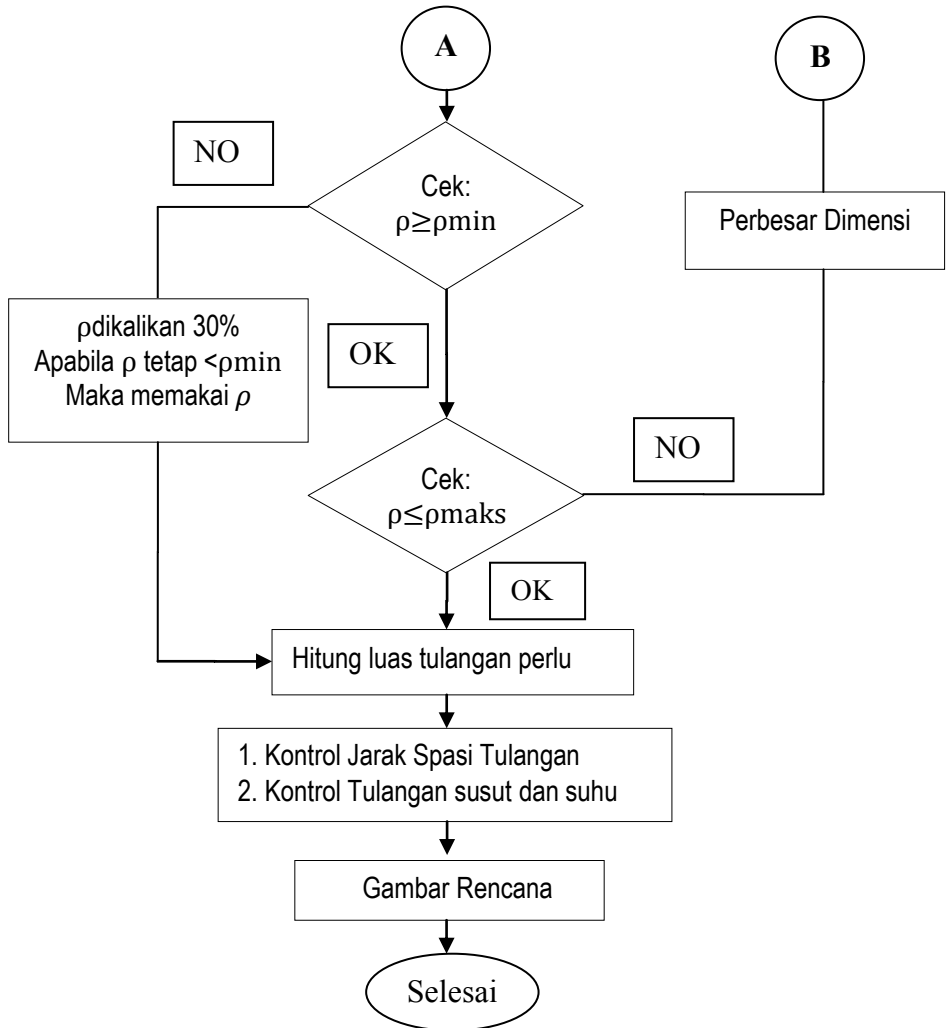
### 3.8.3 Pelat lantai



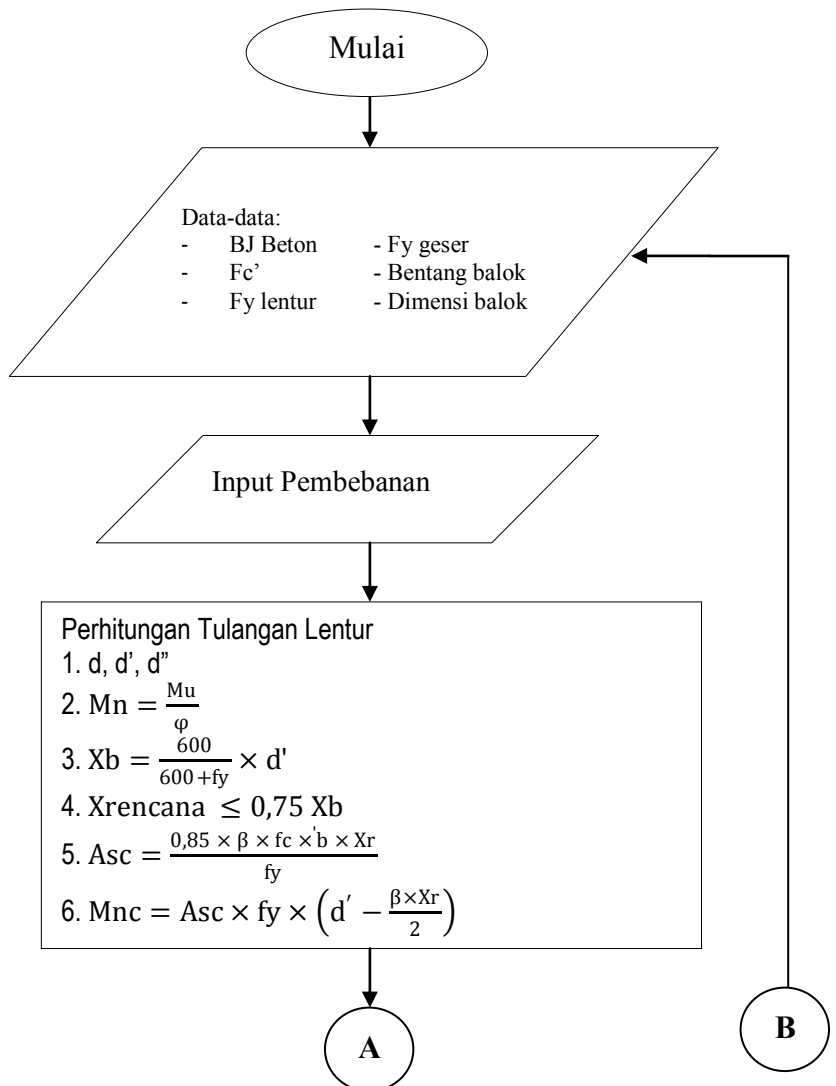


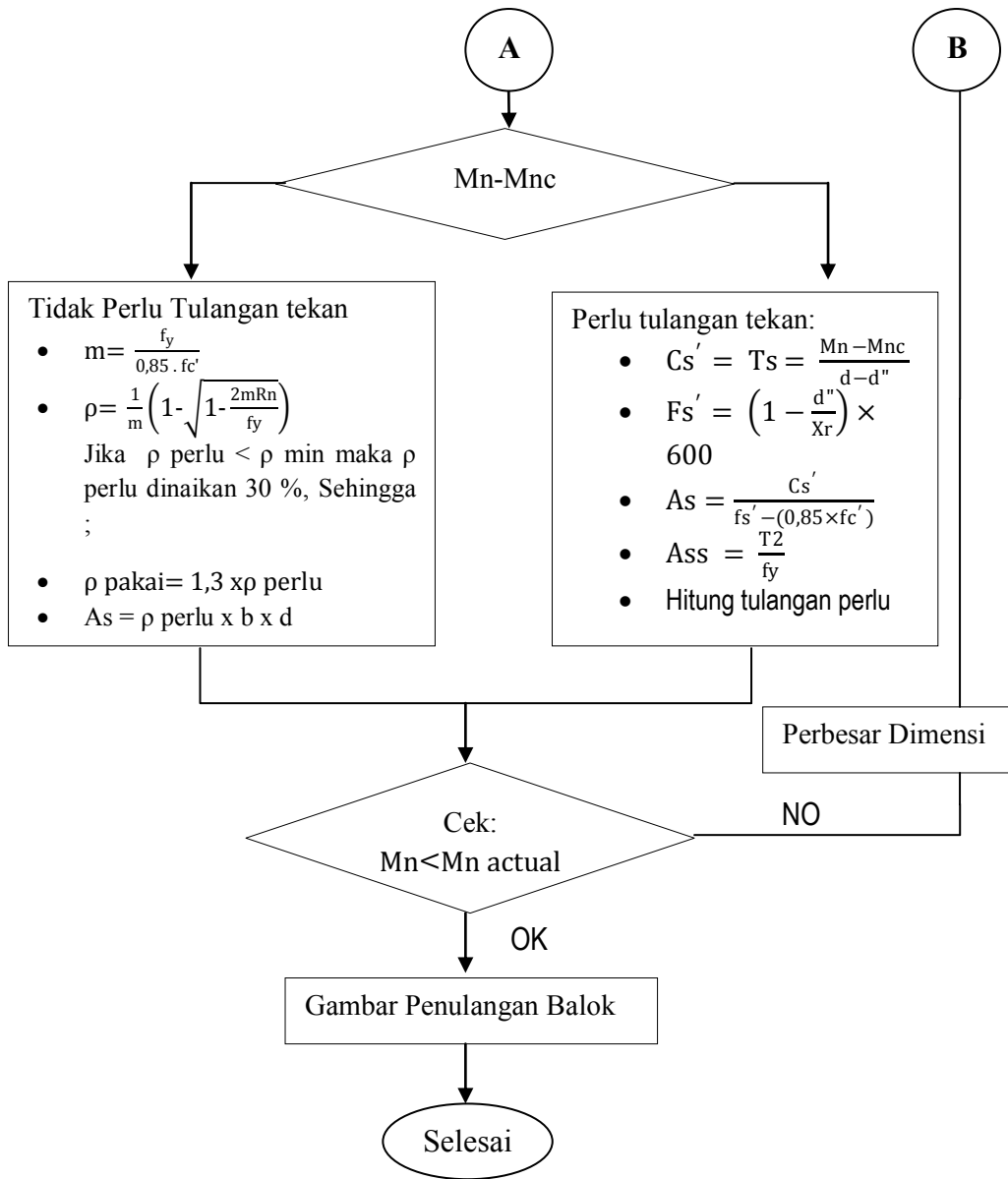
### 3.8.4 Pelat Tangga dan Bordes



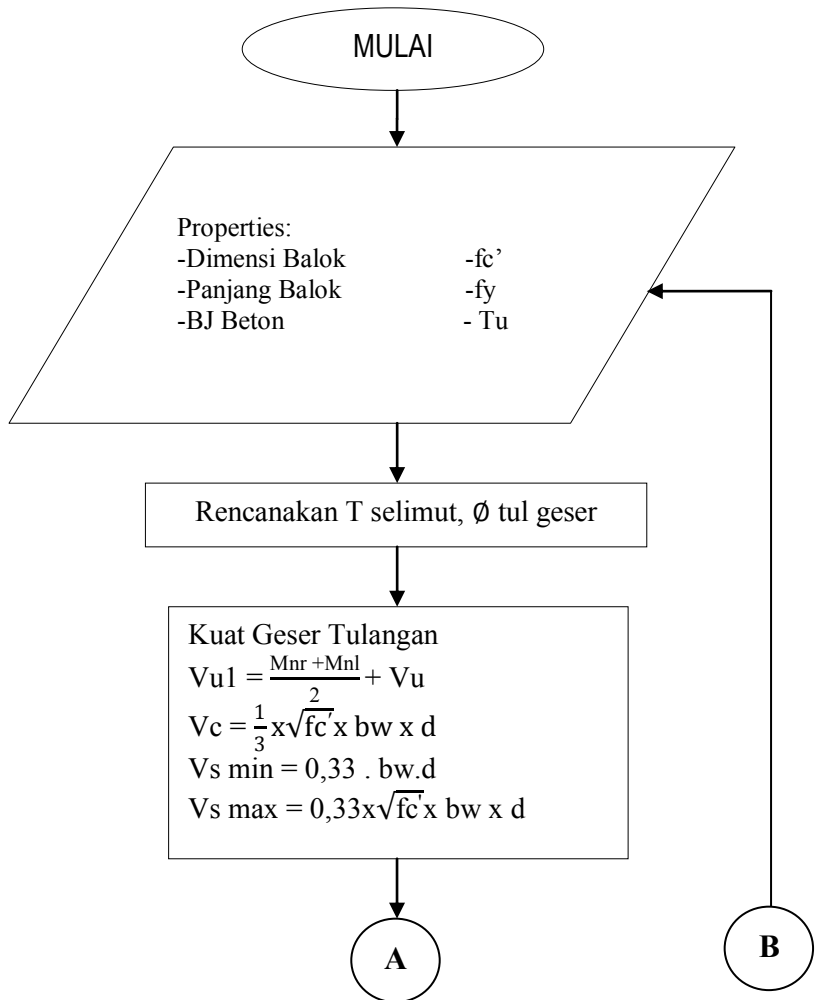


### 3.8.5 Balok Lentur

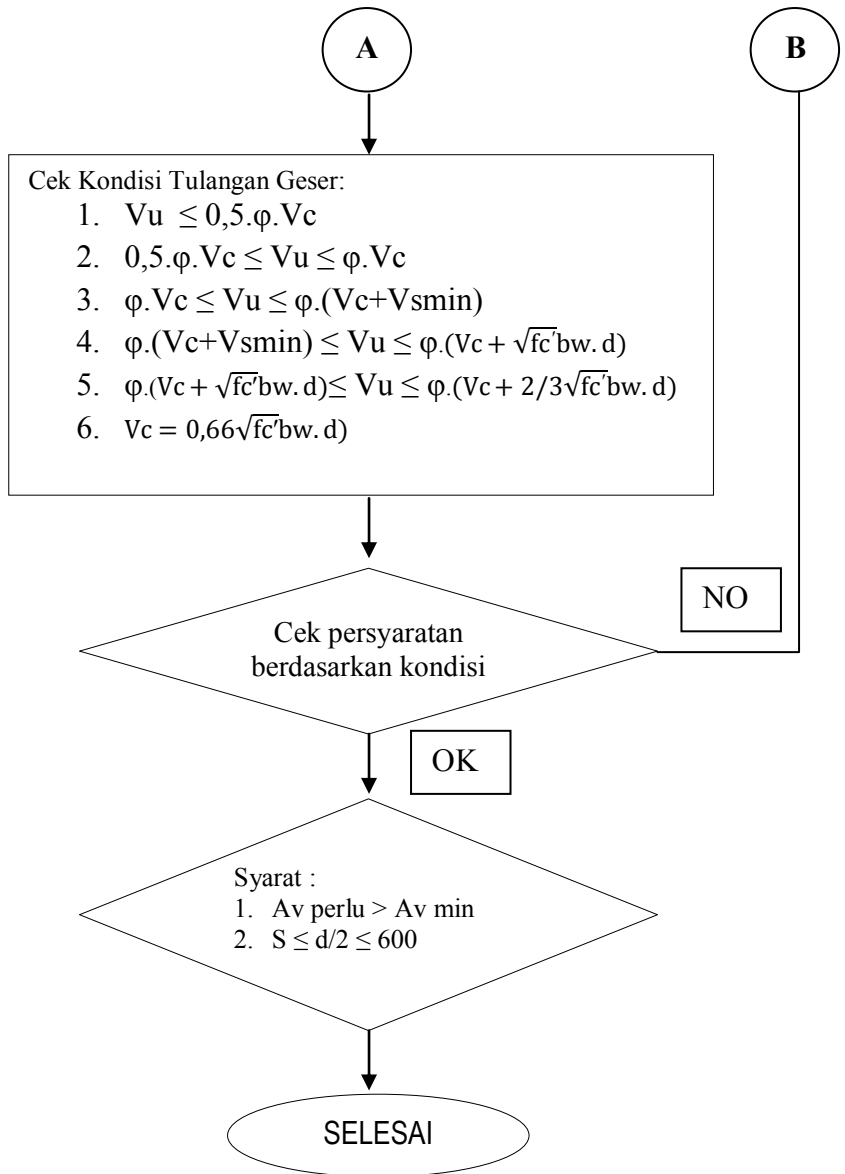




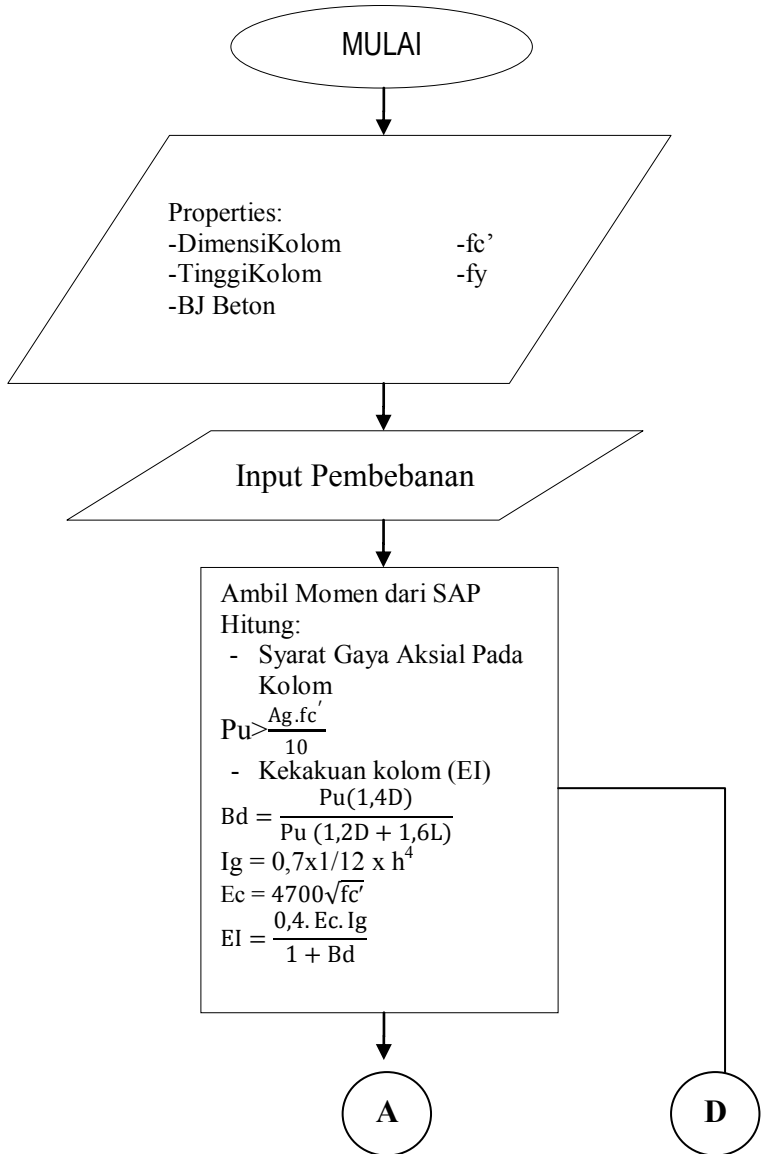
### 3.8.6 Balok Geser

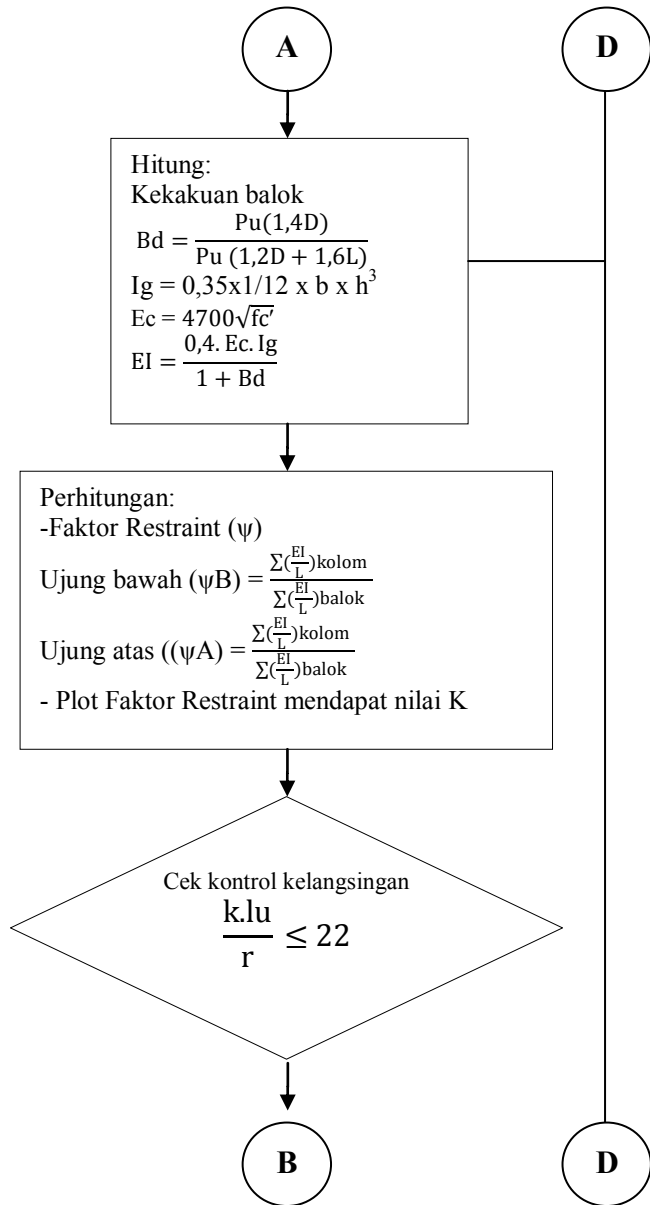


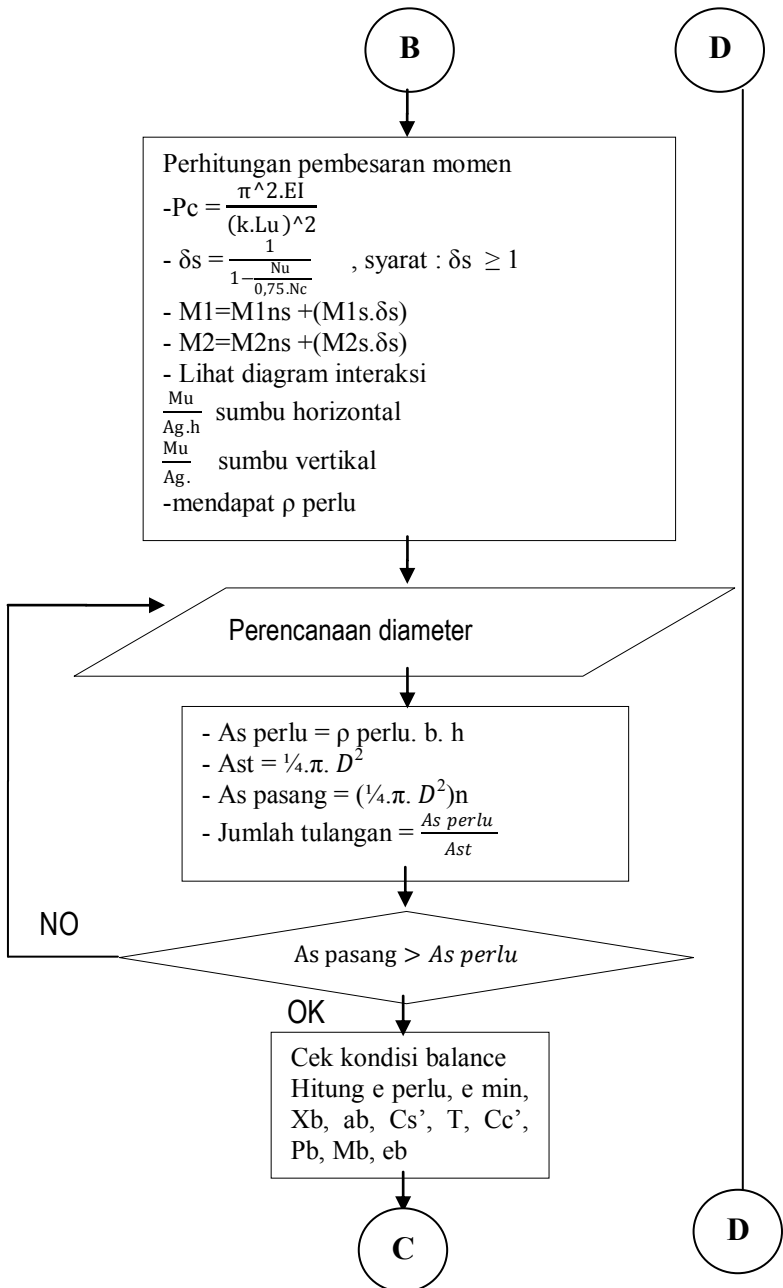


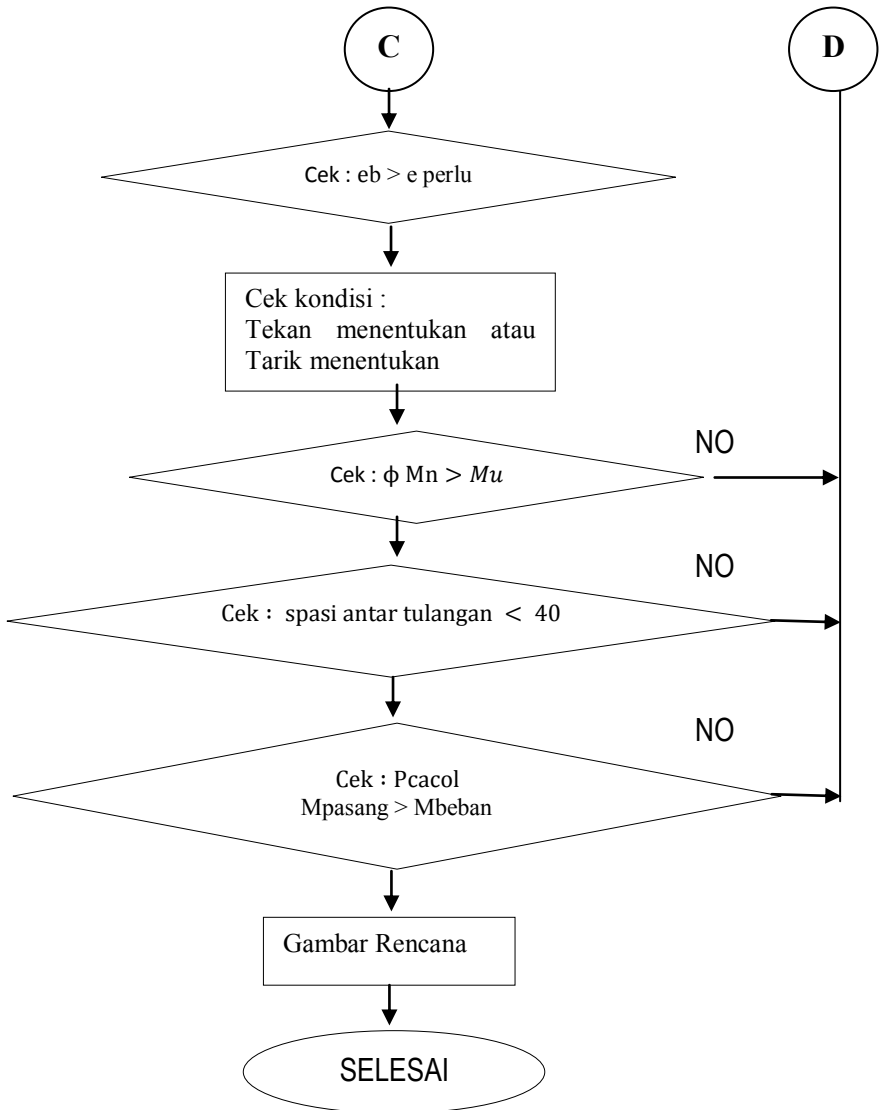


### 3.8.7 Kolom Lentur

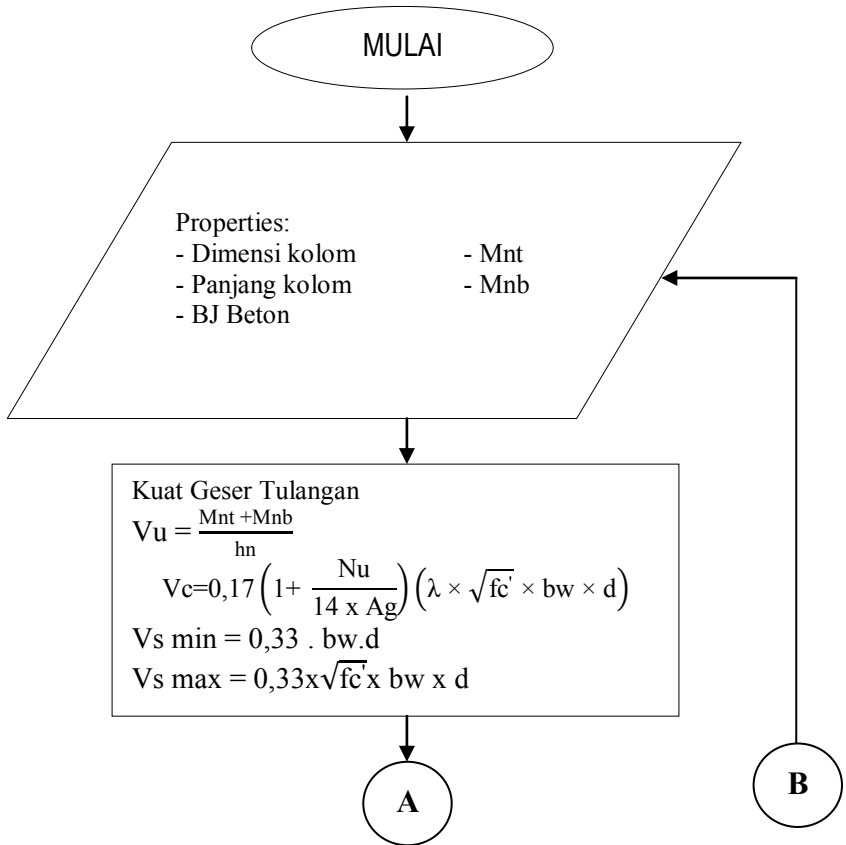


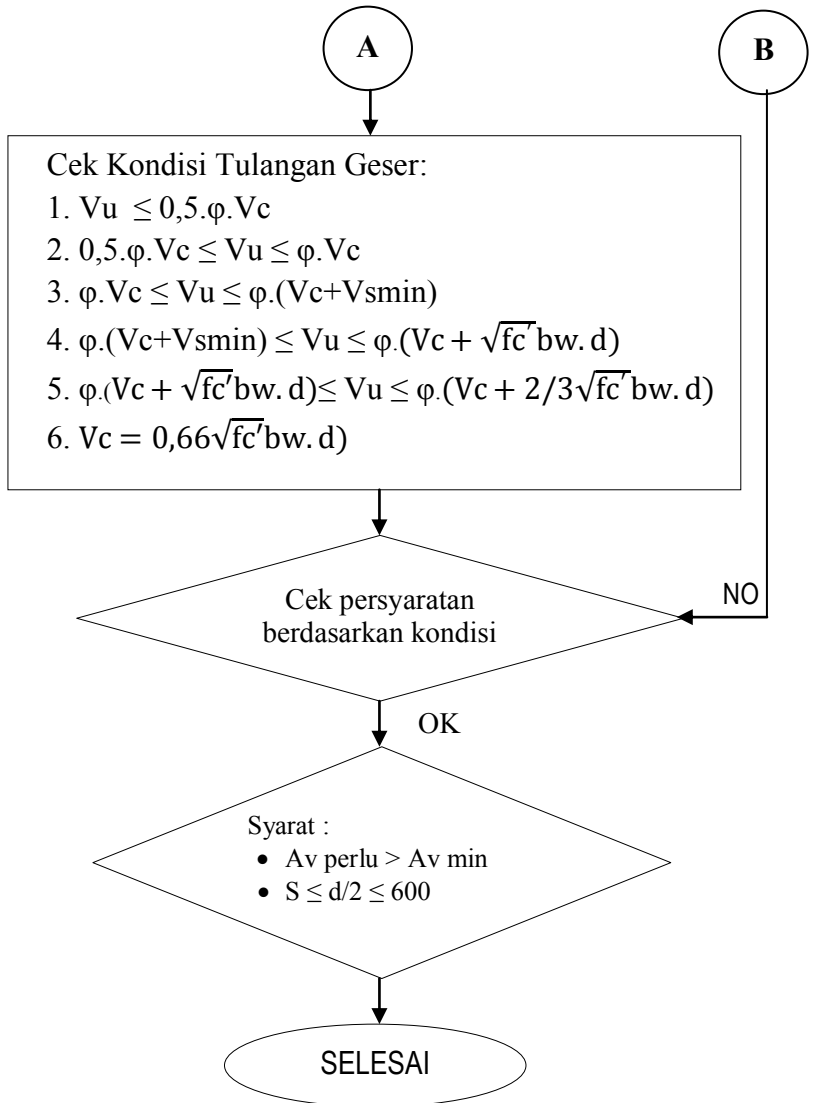




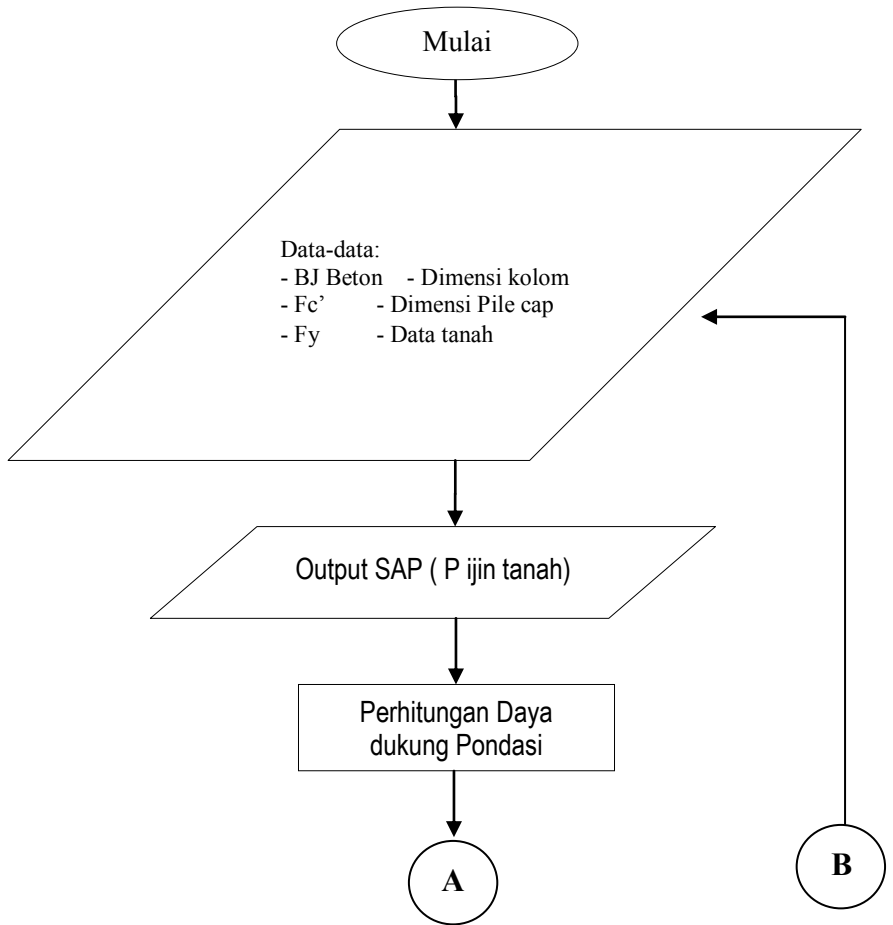


### 3.8.8 Kolom Geser

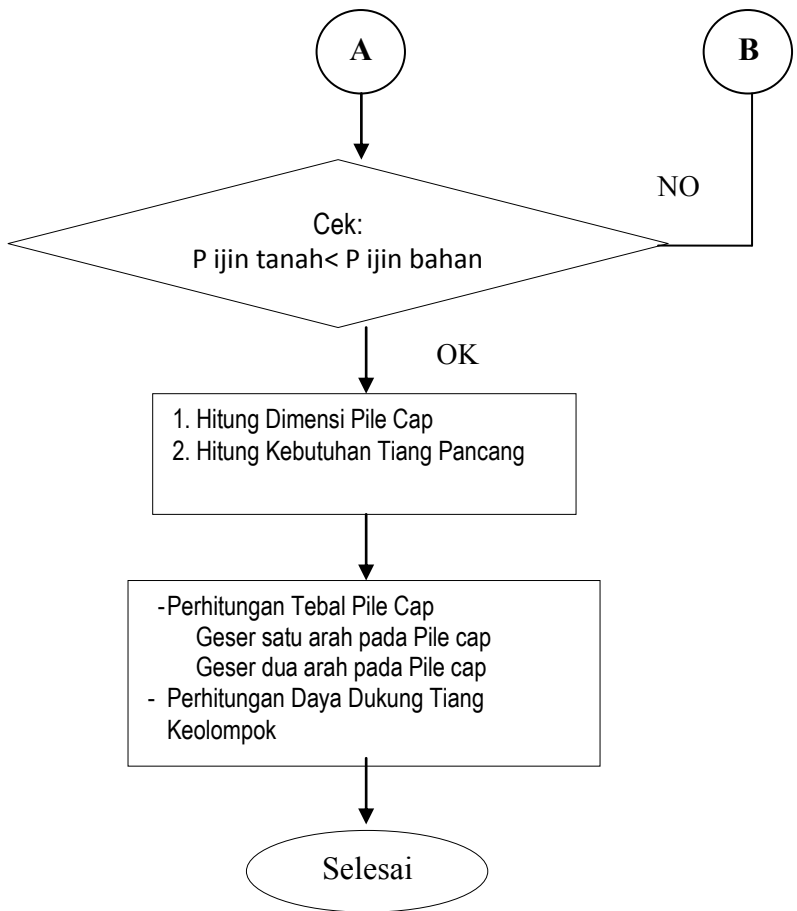




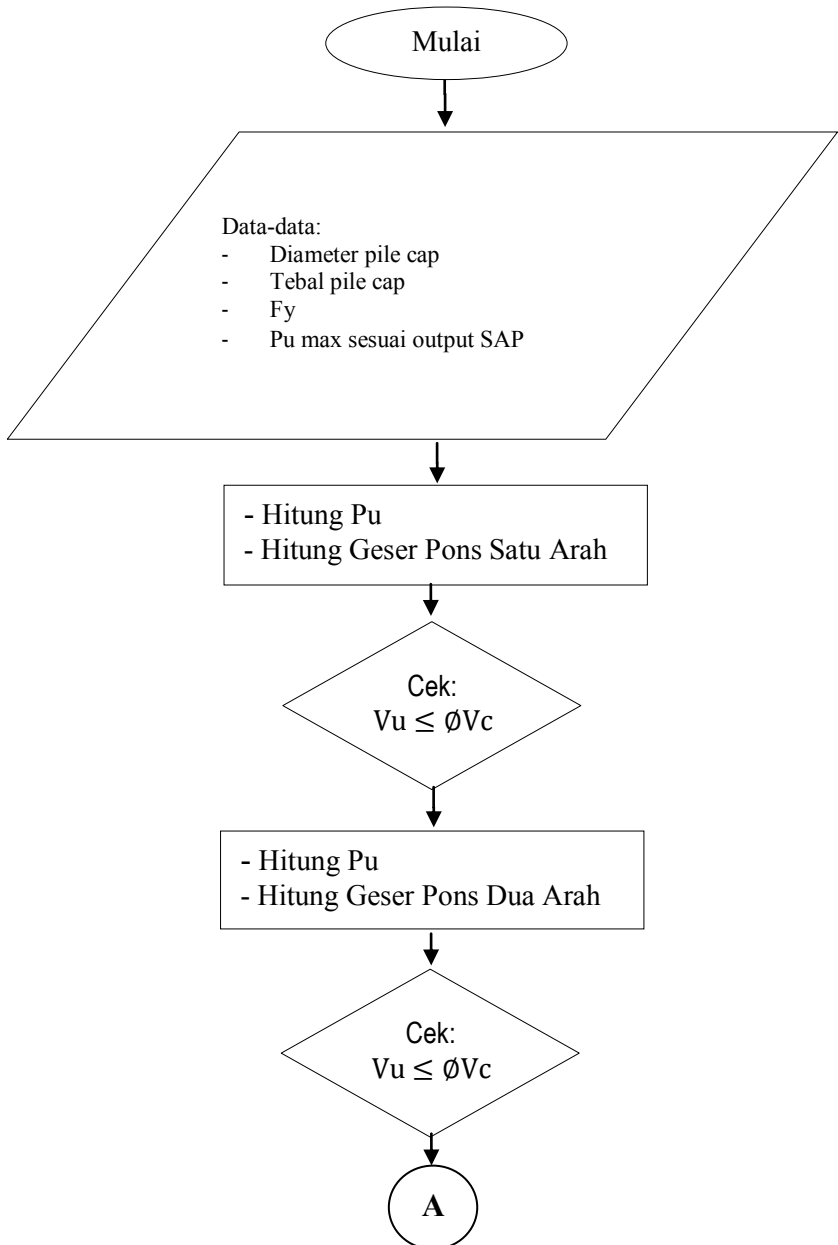
### 3.8.9 Pondasi

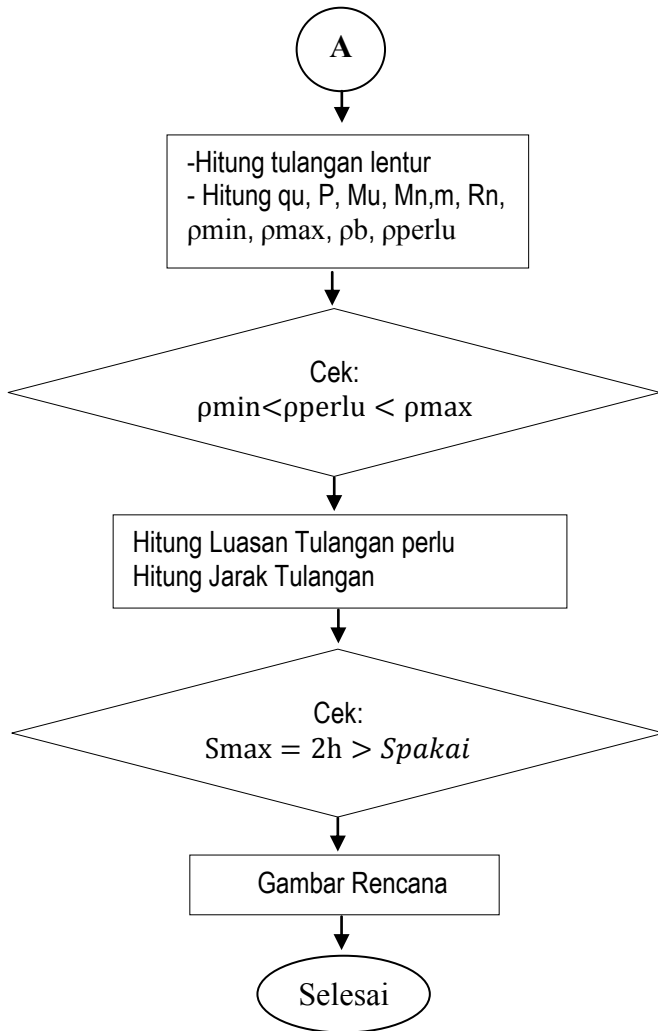






## - Penulangan Pile Cap





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung tersebut.

#### 4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

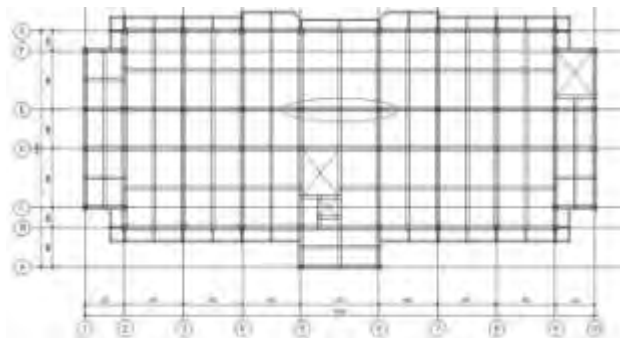
Dalam perencanaan dimensi balok terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi balok dalam perencanaan struktur gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta adalah sebagai berikut :

##### A. Balok Induk

a. Data-data Perencanaan :

- Tipe balok : B1
- As balok : E (5-6)
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 800 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

b. Denah pembalokan



Gambar 1 : Gambar Denah Perencanaan

c. Perhitungan Perencanaan :

$$h \geq \frac{1}{14} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

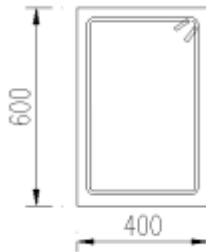
$$h \geq \frac{1}{14} \times 800 \left( 0,4 + \frac{370}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$h \geq 55,51 \text{ cm} \quad b \approx 40 \text{ cm}$$

$$h \approx 60 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk dengan ukuran 40/60

d. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi



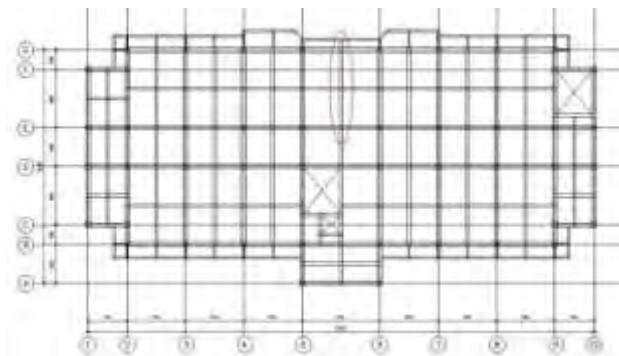
Gambar 4. 1 Rencana dimensi balok induk 40/60

## B. Balok Anak

a. Data-data Perencanaan :

- Tipe balok : BA
- As balok : 5' (E-G)
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 800 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

b. Denah pembalokan



Gambar 4. 2 : Denah rencana balok anak

c. Perhitungan Perencanaan :

$$h \geq \frac{1}{21} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{21} \times 800 \left( 0,4 + \frac{370}{700} \right) \quad b = \frac{2}{3} \times 40$$

$$h \geq 37,01 \text{ cm} \quad b \approx 26,67 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm} \quad b \approx 30 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok anak dengan ukuran 30/40

d. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi



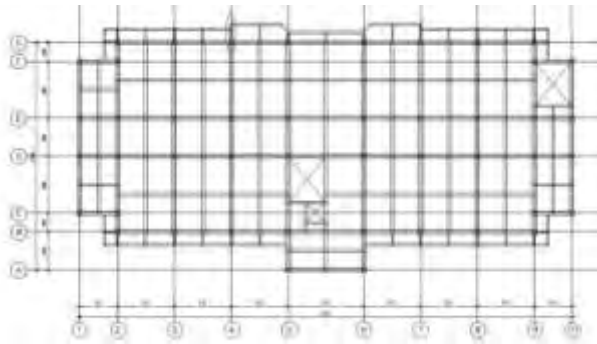
Gambar 4. 3 : Rencana dimensi balok anak 30/40

### C. Balok Kantilever

#### a. Data-data Perencanaan :

- Tipe balok : BK
- As balok : 4 (G-G')
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 200 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

#### b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 4 : Gambar denah balok kantilever

#### c. Perhitungan Perencanaan :

$$h \geq \frac{1}{8} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{8} \times 200 \left( 0,4 + \frac{370}{700} \right)$$

$$b = \frac{2}{3} \times 25$$

$$h \geq 24,29 \text{ cm}$$

$$b \approx 16,67 \text{ cm}$$

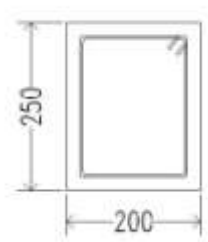
$$h \approx 25 \text{ cm}$$

$$b \approx 20 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok kantilever dengan ukuran 20/25



d. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi



Gambar 4. 5 : Dimensi balok kantilever

#### 4.1.2 Perencanaan Dimensi Sloof

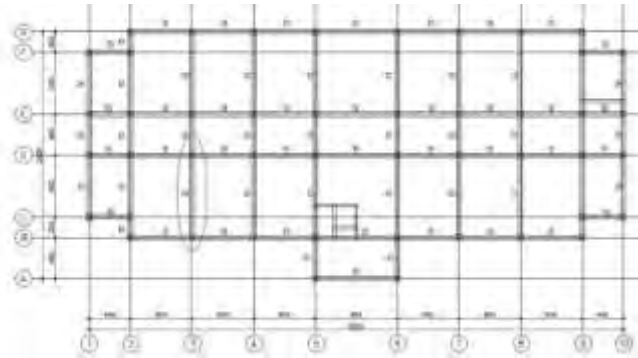
Dalam perencanaan dimensi sloof terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi sloof dalam perencanaan struktur gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta adalah sebagai berikut :

##### A. Sloof 1 (S1)

a. Data-data Perencanaan :

- Tipe sloof : S1
- As sloof : 3 (B-D)
- Bentang sloof ( $L_{\text{sloof}}$ ) : 800 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

## b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 6 : Gambar denah rencana sloof

## c. Perhitungan Perencanaan :

$$h \geq \frac{1}{14} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \qquad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{14} \times 800 \left( 0,4 + \frac{370}{700} \right) \qquad b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$h \geq 55,51 \text{ cm} \qquad b \approx 40 \text{ cm}$$

$$h \approx 60 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi sloof dengan ukuran 40/60

## d. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi



Gambar 4. 7 : Rencana dimensi sloof 40/60

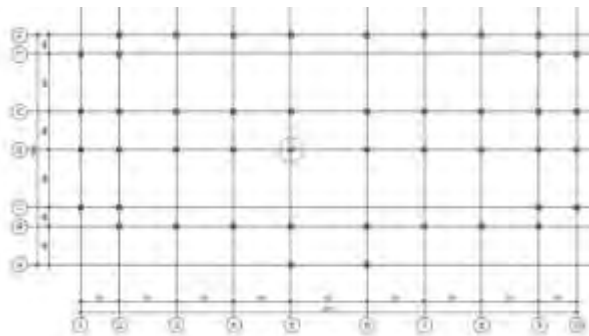
#### 4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan dimensi kolom terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi kolom dalam perencanaan struktur gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta adalah sebagai berikut :

a. Data-data Perencanaan :

- Tipe kolom : K
- Tinggi kolom ( $h_{\text{kolom}}$ ) : 400 cm
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 800 cm
- Lebar balok ( $b_{\text{balok}}$ ) : 40 cm
- Tinggi balok ( $h_{\text{balok}}$ ) : 60 cm

b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 8 : Rencana denah kolom

c. Perhitungan Perencanaan :

$$\frac{\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3}{h_{\text{kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b_b \times h_b^3}{L_{\text{balok}}}$$

Dimana  $h_k = b_k$

$$\frac{\frac{1}{12} \times h_k^4}{h_{\text{kolom}}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b_b \times h_b^3}{L_{\text{balok}}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times h_k^4}{540} \geq \frac{\frac{1}{12} \times 40 \times 60^3}{800}$$

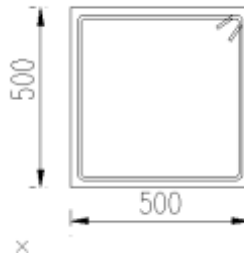
$$h \approx 46,15 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

$$h = b = 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran 50/50

d. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi



Gambar 4. 9 : Rencana dimensi kolom 50/50

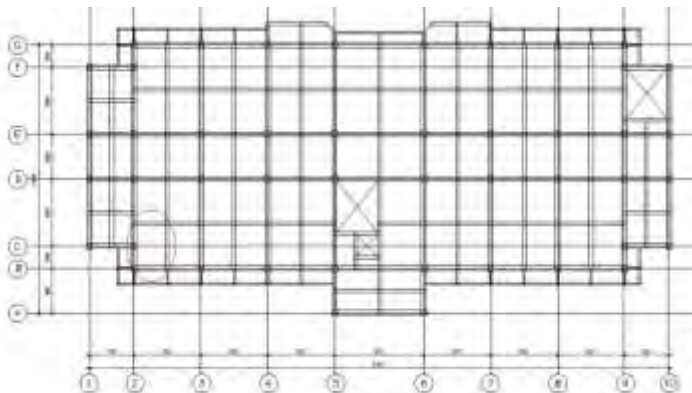
#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat

Dalam perencanaan dimensi pelat terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan dan perhitungan perencanaan dalam perencanaan struktur gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta adalah sebagai berikut :

##### a. Data-data Perencanaan :

- Tipe pelat : P
- Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 mpa
- Rencana tebal pelat : 12 cm
- Bentang pelat sumbu panjang ( $L_y$ ) : 540 cm
- Bentang pelat sumbu pendek ( $L_x$ ) : 800 cm
- Dimensi balok as 2 (B-C') : 40/60
- Dimensi balok as B (2-2') : 40/60
- Dimensi balok as 2' (B-C') : 30/40
- Dimensi balok as C' (2-2') : 30/40

##### b. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 10 : Rencana denah pelat

## c. Perhitungan Perencanaan :

- Bentang bersih pelat sumbu panjang ( $l_n$ )

$$l_y : 400 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as } C' (2-2') : 30 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as } C'' (2-2') : 30 \text{ cm}$$

$$l_n = l_y - \left( \frac{b \text{ balok as B } (2-2')}{2} + \frac{b \text{ balok as } C' (2-2')}{2} \right)$$

$$l_n = 400 - \left( \frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right)$$

$$l_n = 365$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek ( $s_n$ )

$$l_x : 300 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 2 } (C'-C'') : 40 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 2' } (C'-C'') : 30 \text{ cm}$$

$$s_n = l_x - \left( \frac{b \text{ balok as 2 } (B-C')}{2} + \frac{b \text{ balok as 2' } (B-C')}{2} \right)$$

$$s_n = 300 - \left( \frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right)$$

$$s_n = 265$$

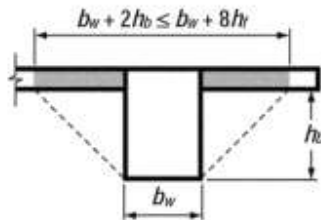
Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek

$$\beta = \frac{l_n}{s_n}$$

$$\beta = \frac{365}{265}$$

$$\beta = 1,37 < 2 \quad \text{Two way slab ( pelat dua arah)}$$

- Tinjau balok as 2 (B-C'), B (2-2')



$$b_w : 40 \text{ cm}$$

$$h : 60 \text{ cm}$$

asumsi plat (t) : 12 cm

$$\begin{aligned} \text{➤ } b_{e1} &= b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f \\ b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ b_{e1} &= 40 + 2(60-12) \\ b_{e1} &= 136 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ b_{e2} &= 40 + (8 \times 12) \\ b_{e2} &= 136 \end{aligned}$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)**

Maka yang digunakan yang nilai  $b_e$  terkecil adalah 136 cm

- Faktor modifikasi  
Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

k

$$= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)}$$

k

$$= \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$I_b = K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,64 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12}$$

$$I_b = 1182170 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{\{0,5 (300 + 400)\} \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 50400 \text{ cm}^4$$

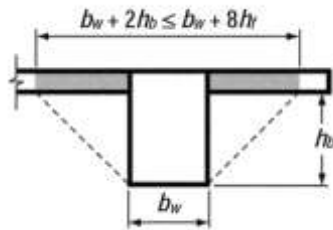
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = \frac{1182170 \text{ cm}^4}{50400 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 23,45$$

- Tinjau balok as C' (2-2'), dan 2' (B-C')



$$b_w : 30 \text{ cm}$$

$$h : 40 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi plat (t)} : 12 \text{ cm}$$

$$\text{➤ } b_{e1} = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h-t)$$

$$b_{e1} = 30 + 2(40-12)$$

$$b_{e1} = 86$$

$$\text{➤ } b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$b_{e2} = 30 + (8 \times 12)$$

$$b_{e2} = 126$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)**

Maka yang digunakan yang nilai  $b_e$  terkecil adalah 86 cm

- Faktor modifikasi

Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)



k

$$= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)}$$

k

$$= \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,58$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$I_b = K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 1,58 \cdot \frac{30 \cdot 40^3}{12}$$

$$I_b = 252494,77 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{\{0,5 (300 + 400)\} \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 50400 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_3 = \frac{252494,77 \text{ cm}^4}{50400 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_3 = 5,01$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = 5,01$$

Dari perhitungan di atas didapatkan,

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha = \frac{23,45 + 23,45 + 5,01 + 5,01}{4}$$

$$= 14,23$$

Berdasarkan *SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3(c)* Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2h, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm  
sehingga,

$$h = \frac{365 \times \left(0,8 + \frac{370}{1500}\right)}{36 + (9 \times 1,37)} > 90 \text{ mm}$$

$$h = 8,19 \text{ cm}$$

$$h = 81,9 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

maka dimensi pelat lantai yang digunakan adalah 120 mm

#### 4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Dalam perencanaan dimensi tangga terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan dan perhitungan perencanaan dalam perencanaan struktur gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta adalah sebagai berikut :

a. Data-data Perencanaan :

- Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Tebal Pelat : 15 cm
- Diameter tulangan lentur : 14 mm
- Tebal Selimut Beton : 30 mm
- Lebar Injakan (i) : 30 cm
- Tinggi Injakan (t) : 18,18 cm
- Tinggi tangga : 400 cm
- Tinggi bordes : 200 cm
- Panjang datar tangga : 300 cm



- Sudut kemiringan

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{18,18}{30}$$

$$\alpha = 31,216^\circ$$

syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 31,216^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{memenuhi})$$

- Tebal efektif pelat tangga

Dengan perbandingan luas pada segitiga:

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} \times i \times t = \frac{1}{2} \times (\sqrt{i^2 + t^2}) \times d$$

$$\frac{1}{2} \times 30 \times 18,18 = \frac{1}{2} \times (\sqrt{30^2 + 18,18^2}) \times d$$

$$272,70 = 17,54 \times d$$

$$d = 15,55$$

$$\frac{1}{2} \times d = 7,78 \text{ cm}$$

## 4.2 Perhitungan Struktur

### 4.2.1 Pembebanan Struktur

#### 4.2.1.1 Pembebanan Pelat

- Pembebanan Pelat lantai

Beban mati:

$$\text{Berat pelat (12cm)} = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi (1cm)} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik } 40 \times 40 = 16,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 5,03 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat penggantung} = 8 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pemipaan air} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Instalasi listrik, AC, dll} = 40 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total beban mati pelat} = 403,53 \text{ kg/m}^2$$

- Pembebanan Pelat atap  
 Beban mati:  
 Berat pelat (12 cm)  $= 288 \text{ kg/m}^2$   
 Berat aspal tebal 2 cm  $= 28 \text{ kg/m}^2$   
 Berat plafond  $= 5,03 \text{ kg/m}^2$   
 Berat penggantung  $= 8 \text{ kg/m}^2$   
 Pemipaan air  $= 25 \text{ kg/m}^2$   
 Instalasi listrik, AC, dll  $= 40 \text{ kg/m}^2$   
 Total beban mati pelat  $= 394,03 \text{ kg/m}^2$
  
- Beban Hidup pelat lantai sesuai SNI 1727-2013 :  
 Beban hidup lantai 1 :  
 Laboratorium  $= 287 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang kantor  $= 240 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang lain-lain  $= 192 \text{ kg/m}^2$   
 Koridor lantai 1  $= 479 \text{ kg/m}^2$   
 Gudang  $= 600 \text{ kg/m}^2$
  
- Beban hidup lantai 2 :  
 Laboratorium  $= 287 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang kantor  $= 240 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang lain-lain  $= 192 \text{ kg/m}^2$   
 Koridor lantai 2  $= 383 \text{ kg/m}^2$   
 Gudang  $= 600 \text{ kg/m}^2$
  
- Beban hidup lantai 3 :  
 Laboratorium  $= 287 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang kantor  $= 240 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang lain-lain  $= 192 \text{ kg/m}^2$   
 Koridor lantai 3  $= 383 \text{ kg/m}^2$   
 Gudang  $= 600 \text{ kg/m}^2$
  
- Beban hidup lantai 4 :  
 Ruang kantor  $= 240 \text{ kg/m}^2$   
 Ruang lain-lain  $= 192 \text{ kg/m}^2$   
 Koridor lantai 4  $= 383 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}\text{Ruang baca} &= 287 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Gudang} &= 600 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban hidup lantai atap :} \\ \text{Pelat atap} &= 96 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Beban hujan pada lantai atap

$$R = 0,0098 (d_s + d_h)$$

$$R = 0,0098 (10 + 20)$$

$$R = 0,294 \text{ kN/m}^2 = 29,4 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.2.1.2 Pembebanan Tangga

- Beban pelat anak tangga lantai 1

Beban mati:

$$\begin{aligned}\text{Berat pelat (15 cm)} &= 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat anak tangga} &= 0,078 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 187,2 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat spesi (1cm)} &= 21 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat keramik ukuran 30cm x 30cm} &= 15 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat pegangan} &= 10 \text{ kg/m}^2 + \\ \text{Total beban mati pelat (q DL)} &= 593,2 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

- Beban pelat anak tangga lantai 2-5

Beban mati:

$$\begin{aligned}\text{Berat pelat (15 cm)} &= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat anak tangga} &= 0,081 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 194,4 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat spesi (1cm)} &= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat keramik ukuran 30cm x 30cm} &= 15 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat pegangan} &= 10 \text{ kg/m}^2 + \\ \text{Total beban mati pelat (q DL)} &= 600,4 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

- Beban Hidup pelat tangga sesuai SNI 1727-2013 :
  - Beban hidup rencana minimum pada tangga tetap dengan anak tangga harus merupakan beban terpusat tunggal = 133 kg

- Beban pelat bordes

Beban mati:

$$\text{Berat pelat (15 cm)} = 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi (1cm)} = 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (1cm)} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pegangan} = 10 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total beban mati pelat (q DL)} = 406 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Hidup pelat bordes sesuai SNI 1727-2013 :  
Beban hidup pelat bordes = 133 kg/m<sup>2</sup>

#### 4.2.1.3 Pembebanan Dinding

$$\text{Berat Siticon} = 75 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat plesteran} = 16 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat acian} = 2,5 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total beban dinding} = 93,5 \text{ kg/m}^2$$

Perhitungan :

- Beban merata lantai 1 = H1 x Total beban dinding  
= 4 m x 93,5 kg/m<sup>2</sup>  
= 374 kg/m
- Beban merata lantai 2 = H2 x Total beban dinding  
= 4,2 m x 93,5 kg/m<sup>2</sup>  
= 392,7 kg/m
- Beban merata lantai 3 = H3 x Total beban dinding  
= 4,2 m x 93,5 kg/m<sup>2</sup>  
= 392,7 kg/m
- Beban merata lantai 4 = H4 x Total beban dinding  
= 4,2 m x 93,5 kg/m<sup>2</sup>  
= 392,7 kg/m
- Beban merata lantai 5 = H5 x Total beban dinding  
= 4,2 m x 93,5 kg/m<sup>2</sup>  
= 392,7 kg/m

#### 4.2.1.4 Pembebanan Angin

Dalam perhitungan pembebanan angin menggunakan SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Dalam peraturan tersebut beban angin di desain untuk bangunan gedung dan struktur

lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari empat prosedur yaitu prosedur pengarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian, prosedur amplop untuk bangunan gedung bertingkat rendah, prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan gedung, dan prosedur terowongan angin.

Berikut perhitungan pembebanan angin bangunan gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta :

1. Data Perencanaan:

Fungsi bangunan	: Perkuliahan
Tinggi bangunan	: 20,8 m
Panjang bangunan	: 52 m
Lebar bangunan	: 24 m
Tinggi lantai	: h1 : 4 m
	h2-h5 : 4,2 m

2. Kategori bangunan gedung

- Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2  
Termasuk bangunan gedung tertutup karena bangunan gedung tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan gedung terbuka dan bangunan gedung tertutup sebagian
- Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2 dan 26.9.2  
Termasuk bangunan kaku karena memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Penentuan Frekuensi

- Tinggi bangunan  $\leq 91$  m  
 $20,8 \text{ m} \leq 91 \text{ m (OK)}$
- Tinggi bangunan  $\leq 4 \times L_{\text{eff}}$   
$$L_{\text{eff}} = \frac{\sum h_i L_i}{\sum h_i} = \frac{499,2 \text{ m}^2}{20,8 \text{ m}} = 24 \text{ m}$$
  
Maka,  $20,8 \text{ m} \leq 4 \times 24 \text{ m}$   
 $20,8 \text{ m} \leq 96 \text{ m (OK)}$

Sehingga dapat dihitung sesuai dengan pasal 26.9.3 frekuensi alami perkiraan.

Untuk beton bangunan rangka penahan momen



$$n_a = \frac{43,5}{h^{0,9}} = \frac{43,5}{20,8^{0,9}} = 2,83 \text{ Hz}$$

Maka,  $n_a \geq 1 \text{ Hz}$   
 $2,83 \text{ Hz} \geq 1 \text{ Hz (OK)}$

- Dari uraian diatas maka pembebanan angin pada bangunan gedung SPBAU menggunakan prosedur pengarah (lihat SNI 1727:2013 pasal 27)
- 3. Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPBAU untuk bangunan gedung tertutup dengan prosedur pengarah (SNI 1727:2013 tabel 27.2-1)
  - a) Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain (SNI 1727:2013 tabel 1.5-1)

Tabel 1.5-1 - Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa\*, dan Es

Penggunaan atau Pemasfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang mempunyai risiko rendah untuk terjadinya marasita dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, II, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi, keselamatan, atau gangguan risiko dan risiko dan ancaman yang pada saat terjadi kegagalan	IV
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko-Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang mendukung proses, produksi, penyimpanan, penanganan, atau distribusi zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kualitas negara, risiko, jumlah, penyebaran, atau dampak dari zat-zat yang berbahaya yang menimbulkan risiko untuk menimbulkan bahaya bagi masyarakat	IV
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting	IV
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menyebabkan bahaya besar bagi masyarakat	IV
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproduksi, menyimpan, menggunakan, atau mendistribusikan zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang akan jumlah yang cukup dan zat yang sangat beracun di mana kualitas, metode, jumlah, penyebaran, atau dampak dari zat-zat yang berbahaya yang menimbulkan risiko untuk menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika dikumulasi	IV
Bangunan gedung dan struktur lain yang dipasokkan untuk mempertahankan fungsi dan kategori Risiko IV struktur lainnya	IV

Gambar 4. 12 : Kategori resiko bangunan

Maka bangunan gedung termasuk dalam kategori resiko IV

- b) Menentukan kecepatan angin dasar (V)  
 Sesuai dengan prakiraan Badan Meteorologi  
 Klimatologi dan Geofisika  
 $V = 30 \text{ km/jam} = 8,33 \text{ m/s}$

**Prakiraan Cuaca Provinsi Jawa Timur**  
24 May 2016 07:00 WIB hingga 25 May 2016 07:00 WIB

Kabupaten/Kota	Cuaca	Suhu (°C)	Kelambatan (%)	Rnc. Angin (km/jam)	Arah Angin
Gresik	Cerah Berawan	25 - 34	61 - 95	30	Timur Laut
Bangkalan	Cerah Berawan	27 - 33	62 - 95	30	Timur
Sampang	Berawan	27 - 33	65 - 95	30	Timur
Pamekasan	Berawan	26 - 33	64 - 95	30	Timur
Sumenep	Hujan Ringan	26 - 33	65 - 90	35	Timur
Kediri	Berawan	23 - 33	68 - 95	30	Tenggara

Gambar 4. 13 : Prakiraan cuaca provinsi jawa timur  
(sumber : meteo.bmkg.go.id)

- c) Menentukan Faktor arah angin  
 Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.6-1  
 $K_d = 0,85$

Tabel 26.6-1 : Faktor Arah Angin,  $K_d$

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin $K_d$
Bangunan Gedung	
Sistem Pemakaian Bedian Angin Utama	0,85
Kawatgami dan KindingBangunan Gedung	0,85
Akrap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,85
Dinding pejal berlantai berlantai dan papan reklame	
pejal berlantai berlantai papan reklame berlantai	0,85
papan reklame berlantai dan berangka besi	0,85
Rangka tubang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Persegi panjang lainnya	0,85

- d) Kategori Eksposur  
 Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.7  
 Maka termasuk dalam eksposur B
- e) Faktor topografi  
 Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.8.2  
 $K_{zt} = 1$
- f) Faktor efek tiupan angin

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.9.1

Faktor efek tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil  $G = 0,85$

g) Koefisien tekanan internal

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.11-1

Klasifikasi Ketertutupan	$(GC_{pi})$
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,10 - 0,18

Maka,  $GC_{pi} = + 0,18$   
- 0,18

h) Koefisien eksposur tekanan velositas

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 27.3-1

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	m	A	C	D
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,00
20	(6,1)	0,62	0,90	1,06
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,18
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,08	1,27
60	(18,3)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,26	1,53	1,68
300	(91,4)	1,30	1,58	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,85
500	(152,4)	1,56	1,77	1,88

Tinggi bangunan (z) = 20,8 m

Interpolasi nilai z :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\frac{20,8 - 18}{21,3 - 18} = \frac{y - 0,85}{0,89 - 0,85}$$

$$\frac{2,8}{3,3} = \frac{y - 0,85}{0,04}$$

$$y = 0,88$$

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.9.1

Eksposur B →  $\alpha = 7$

$$z_g = 365,76 \text{ m}$$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{20,8}{365,76} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$K_z = 0,88$$

Maka,  $K_z = K_h = 0,88$  (karena atap datar)

i) Menentukan tekanan velositas

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 27.3.2

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_z = 0,613 \times 0,88 \times 1 \times 0,85 \times 8,33^2$$

$$q_z = 32,06 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \times K_h \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_h = 0,613 \times 0,88 \times 1 \times 0,85 \times 8,33^2$$

$$q_h = 32,06 \text{ N/m}^2$$

j) Menentukan koefisien tekanan eksternal

Sesuai dengan SNI 1727:2013 gambar 27.4-1 untuk dinding dan atap rata

Koefisien tekanan dinding, $C_p$			
Permukaan	L/B	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	$q_z$
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5	$q_h$
	2	-0,3	
	$\geq 4$	-0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	$q_z$

- Dinding di sisi angin datang ( $q_z$ )

$$C_p = 0,8$$

- Dinding di sisi angin pergi ( $q_h$ )

$$\frac{L}{B} = \frac{24 \text{ m}}{52 \text{ m}} = 0,46$$

$$C_p = -0,5$$

- Dinding tepi ( $q_h$ )

$$C_p = -0,7$$

- k) Tekanan angin pada setiap permukaan bangunan gedung kaku

Sesuai dengan SNI 1727:2013 persamaan 27.4-1

- Dinding di sisi angin datang

$$p = q \cdot G \cdot C_{pi} - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 32,06 \times 0,85 \times 0,8 - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = 21,8 \text{ N/m}^2 = 2,18 \text{ kg/m}^2$$

- Dinding di sisi angin pergi

$$p = q \cdot G \cdot C_{pi} - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 32,06 \times 0,85 \times (-0,5) - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = -13,6 \text{ N/m}^2 = -1,36 \text{ kg/m}^2$$

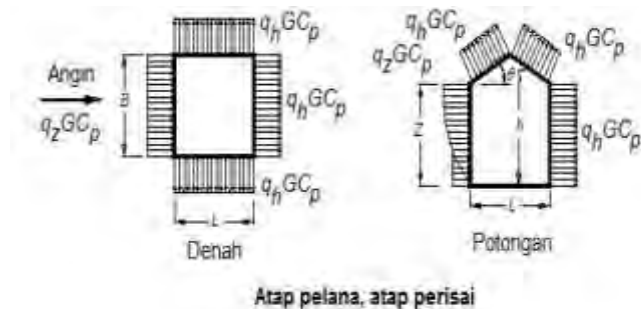
- Dinding tepi

$$p = q \cdot G \cdot C_{pi} - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 32,06 \times 0,85 \times (-0,7) - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = -19,1 \text{ N/m}^2 = -1,91 \text{ kg/m}^2$$

- l) Input beban angin di SAP 2000. Beban angin di inputkan ke dalam kolom sebagai beban merata pada tiap-tiap kolom arah x dan y.



#### 4.2.1.5Pembebanan Gempa

Gedung E Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta merupakan bangunan bertingkat. Jumlah tingkat gedung ialah 5 tingkat. Pada perhitungan beban gempa struktur ada beberapa persyaratan untuk menentukan jenis gedung apakah termasuk gedung beraturan atau tidak beraturan.

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 10 dan 11 tentang ketidakberaturan horisontal dan vertikal pada struktur harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sesuai dengan kategori desain seismik , yaitu :

Tabel 7 : Ketidakberaturan horisontal pada stuktur

No	Tipe Ketidakberaturan	Penjelasan	Kontrol
1a	Ketidakberaturan Torsi	$0,003 < ,031$	OKE
1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan	$0,003 < 0,036$	OKE
2	Ketidakberaturan sudut dalam	KDS tidak memenuhi	
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	KDS tidak memenuhi	
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang	Bentuk bangunan Simetris	OKE

5	Ketidakteraturan Sistem Nonparalel	Tidak terdapat kolom miring atau elemen penahan gaya vertikal tidak paralel	OKE
---	------------------------------------	---	-----

Tabel 8 : Ketidakteraturan vertikal pada struktur

No	Tipe Ketidakteraturan	Penjelasan	Kontrol
1a	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak	KDS tidak memenuhi	
1b	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan	KDS tidak memenuhi	
2	Ketidakteraturan Berat (Massa)	KDS tidak memenuhi	
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal	KDS tidak memenuhi	
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan		OKE
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat	KDS tidak memenuhi	
5b.	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral		OKE

Maka bangunan Gedung termasuk bangunan beraturan. Sehingga pada perhitungan pembebanan gempa menggunakan analisis perhitungan statik ekuivalen. Berikut langkah-langkah dalam perhitungan :

a) Klasifikasi Situs

Sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.3 jenis kategori tanah dibedakan menjadi tanah keras, sedang, lunak, khusus.

Jenis tanah pada lokasi bangunan adalah tanah keras maka menggunakan perhitungan data SPT berikut ini:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{Ni}}$$

Lapisan ke (i)	Tebal per lapisan (di)	Ni	Di/Ni
1	1	0	0
2	1	8	0,125
3	1	0	0
4	2	20	0,1
5	1	60	0,017
6	4	76	0,053
7	17	480	0,035
8	3	120	0,025
$\Sigma$	30		0,355

Sehingga didapatkan nilai  $\bar{N}$  sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{Ni}}$$

$$\bar{N} = \frac{30}{0,355}$$

$$\bar{N} = 84,575$$

Sesuai **SNI 1726:2012 Tabel 3**, karena nilai  $\bar{N} = 84,575$  maka termasuk dalam tanah keras (SC) karena  $\bar{N} > 50$ .

b) Faktor Percepatan Batuan Dasar (  $S_s$ ,  $S_1$  )

Direncanakan bangunan berumur 2% dalam 50 tahun (Gempa 2500 tahun).

Diketahui dari lokasi bangunan:

$$S_s = 0,4 g$$

(*Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, Gambar 2*)



$$S_i = 0,1 \text{ g}$$

**(Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, Gambar 3)**

- c) Faktor Koefisien Situs ( $F_a$ ,  $F_v$ ) dan Parameter respon ( $S_{ms}$ ,  $S_{d1}$ )

$S_s = 0,4 \text{ g}$  berada diantara  $S_s < 0,25$  dengan  $S_s = 0,5$  maka dilakukan interpolasi linier.

**(SNI 1726:2012 Tabel 4)**

Tabel 9 Perhitungan Nilai  $F_a$  secara interpolasi Linier

$S_s$	$F_a$	$\frac{0,5 - 0,25}{1,2 - 1,2} = \frac{0,4 - 0,25}{x - 1,2}$
0,5	1,2	
0,4	1,20	$\frac{0,25}{0} = \frac{0,15}{x - 1,2}$
0,25	1,2	$x = 1,20$

Maka  $F_a = 1,20$

$S_1 = 0,1 \text{ g}$  berada di  $S_1 \leq 0,1$

**(SNI 1726:2012 Tabel 5)**

Maka  $F_v = 1,7$

Koefisien situs

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,20 \times 0,4 = 0,48 \text{ g}$$

**(SNI 1726:2012 Pasal 6.2)**

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,7 \times 0,1 = 0,17 \text{ g}$$

**(SNI 1726:2012 Pasal 6.2)**

- d) Parameter percepatan spektral desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

**(SNI 1726:2012 Pasal 6.3)**

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,48$$

$$S_{DS} = 0,320$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

**(SNI 1726:2012 Pasal 6.3)**

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,17$$

$$= 0,113$$

### **Spektrum respons desain**

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,113}{0,32} = 0,0708 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,113}{0,32} = 0,354 \text{ detik}$$

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

*(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1)*

$$T = 0,0466 \cdot 20,8^{0,9}$$

*(SNI 1726:2012 Tabel 15)*

$$T_a = 0,716 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas, maka termasuk kedalam persamaan:

$$T_0 < T_a < T_s \rightarrow S_a = S_{DS}$$

*(SNI 1726:2012 Pasal 6.4)*

Sehingga didapatkan nilai  $S_a = S_{DS} = 0,4 g$

### • **Tinggi Bangunan**

- $H_0 = 0 \quad m$
- $H_1 = 4 \quad m$
- $H_2 = 8,2 \quad m$
- $H_3 = 12,4 \quad m$
- $H_4 = 16,6 \quad m$
- $H_5 = 20,8 \quad m$

• **Berat Bangunan**

W	Jenis Beban	Komponen	Berat (kg)	Total (kg)
0	Mati	Kolom	57360,00	357203,73
		Sloof	244324,80	
		Tangga	15337,13	
		Dinding	39531,80	
	Hidup	Tangga	650,00	
1	Mati	Kolom	117134,40	1447515,19
		Balok	340156,80	
		Pelat	442228,14	
		Tangga	22682,46	
		Dinding	116049,40	
	Hidup	Pelat	407964,00	
		Tangga	1300,00	
2	Mati	Kolom	120002,40	1459403,29
		Balok	340156,80	
		Pelat	442228,14	
		Tangga	22178,66	
		Dinding	158409,29	
	Hidup	Pelat	375128,00	
		Tangga	1300,00	
3	Mati	Kolom	120002,40	1494929,29
		Balok	340156,80	
		Pelat	442228,14	
		Tangga	22178,66	
		Dinding	161099,28	

	Hidup	Pelat	407964,00	
		Tangga	1300,00	
4	Mati	Kolom	120002,40	1430586,67
		Balok	340156,80	
		Pelat	442228,14	
		Tangga	9406,35	
		Dinding	148204,98	
	Hidup	Pelat	370056,00	
		Tangga	532,00	
5	Mati	Kolom	59774,40	1185965,03
		Balok	342662,40	
		Pelat	453588,80	
		Dinding	68997,39	
	Hidup	Pelat	260942,04	
W total				7375603,20

- **Menentukan koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung**

$$S_{DS} = 0,320$$

$$S_{D1} = 0,113$$

Sesuai **SNI 1726:2012 tabel 14**

$S_{D1}$	$C_u$
0,15	1,6
0,113	1,68
0,1	1,7

$$\frac{0,15 - 0,1}{1,6 - 1,7} = \frac{0,113 - 0,1}{x - 1,7}$$

$$\frac{0,05}{-0,1} = \frac{0,013}{x - 1,7}$$

$$x = 1,68$$

Maka  $C_u = 1,68$

- **Mencari perioda fundamental pendekatan**

$$T_a = 0,716 \text{ detik}$$

$$T_c = 0,823 \text{ detik (dari SAP)}$$

$$C_u \cdot T_a = 1,68 \cdot 0,716 = 1,202 \text{ detik}$$

$$T_a < T_c < C_u \cdot T_a$$

$$0,716 < 0,823 < 1,202 \text{ (OK)}$$

$$\text{Maka } T = T_c = 0,823$$

- **Perhitungan koefisien respons seismik**

Sesuai **SNI 1726:2012 tabel 1 dan 2** fungsi bangunan sebagai gedung perkuliahan, maka termasuk dalam kategori resiko IV

$$I_e = 1,50$$

Sesuai **SNI 1726:2012 tabel 9** menggunakan Sistem Rangka beton bertulang pemikul momen menengah

$$R = 5$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 22)

$$C_s = \frac{0,320}{\left(\frac{5}{1,50}\right)}$$

$$C_s = 0,096$$

Syarat :

$$- C_s \leq \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 23)

$$0,096 \leq \frac{0,113}{0,823 \left(\frac{5}{1,50}\right)}$$

$$0,096 \leq 0,041 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$- C_s \geq 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,001$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 24)

$$0,096 \geq 0,044 \cdot 0,320 \cdot 1,50 \geq 0,001$$

$$0,096 \geq 0,021 \geq 0,001 \text{ (memenuhi)}$$

Maka nilai  $C_s$  diambil 0,041

- **Geser dasar seismik**

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,041 \times 7375603,20 \text{ kg}$$

$$V = 304506,83 \text{ kg}$$

- **Gaya Dasar Seismik per Lantai (F)**

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 30)

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum W_i h_i^k}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 31)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

$$T = 0,823 \text{ s}$$

syarat :

- $T \leq 0,5 \text{ s}$  , maka  $k = 1$
- $T \geq 2,5 \text{ s}$  , maka  $k = 2$
- $0,5 \text{ s} < T < 2,5 \text{ s}$  , maka k ditentukan dengan interpolasi linier antar 1 dan 2

T	k
2,5	2
0,823	1,16
0,5	1

$$\frac{2,5 - 0,5}{2 - 1} = \frac{0,823 - 0,5}{x - 1}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{0,323}{x - 1}$$

$$x = 1,16$$

Maka nilai  $k = 1,16$

Lantai	Wx	hx	Wx.hx <sup>k</sup>	Cvx	Fx=Cvx.V
	(kg)	(m)	(kgm)		(kg)
F <sub>0</sub>	357203,73	0	0,00	0,00	0,00
F <sub>1</sub>	1447515,19	4	7245616,71	0,06	17019,51
F <sub>2</sub>	1459403,29	8,2	16819468,64	0,13	39507,90
F <sub>3</sub>	1494929,29	12,4	27856060,30	0,21	65432,17
F <sub>4</sub>	1430586,67	16,6	37410459,94	0,29	87874,86
F <sub>5</sub>	1185965,03	20,8	40304332,57	0,31	94672,39
Σ	7375603,20		129635938,16	1	304506,83

**Cek Gaya Geser**

$$V = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$304506,83 \text{ kg} = 304506,83 \text{ kg (OK)}$$

- Beban Gempa per Kolom**

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	x	y	x	y	x	y
Lantai 0 (dasar)	25,93	12,34	25,93	13,11	0,00	0,77
Lantai 1	25,81	13,24	25,95	13,13	0,14	0,11
Lantai 2	25,96	13,67	25,95	13,13	0,01	0,54
Lantai 3	26,02	13,65	25,95	13,13	0,07	0,52
Lantai 4	25,67	13,65	25,96	13,16	0,29	0,49
Lantai 5 (atap)	25,71	13,61	25,96	13,16	0,26	0,45

- Lantai 0 (dasar)**

$$F_{ix} = 0$$

$$F_{iy} = 0$$

- Lantai 1**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_1 \\ &= 0,14 \text{ m} \cdot 17019,51 \text{ kg} \\ &= 2355,65 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_1 \\ &= 0,11 \text{ m} \cdot 17019,51 \text{ kg} \\ &= 1926,35 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{ix} &= \frac{F_1}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)} \\ F_{iy} &= \frac{F_1}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)} \end{aligned}$$

No	As	X	Y	(X) <sup>2</sup>	(Y) <sup>2</sup>	Fix	Fiy
1	A-5	-3,95	-13,13	15,60	172,40	333,716	333,715
2	A-6	4,05	-13,13	16,40	172,40	333,716	333,715
3	B-2	-21,95	-9,13	481,80	83,36	333,716	333,715
4	B-3	-15,95	-9,13	254,40	83,36	333,716	333,715
5	B-4	-9,95	-9,13	99,00	83,36	333,716	333,715
6	B-5	-3,95	-9,13	15,60	83,36	333,716	333,715
7	B-6	4,05	-9,13	16,40	83,36	333,716	333,715
8	B-7	10,05	-9,13	101,00	83,36	333,716	333,715
9	B-8	16,05	-9,13	257,60	83,36	333,716	333,715
10	B-9	22,05	-9,13	486,20	83,36	333,716	333,715
11	B'-5'	-2,10	-8,48	4,41	71,91	333,716	333,715
12	B'-5"	0,05	-8,48	0,00	71,91	333,716	333,715
13	C-1	-25,95	-7,13	673,40	50,84	333,716	333,716
14	C-2	-21,95	-7,13	481,80	50,84	333,716	333,716
15	C-9	22,05	-7,13	486,20	50,84	333,716	333,716
16	C-10	26,05	-7,13	678,60	50,84	333,716	333,716
17	C'-5	-3,95	-6,46	15,60	41,73	333,716	333,716
18	C'-5'	-2,10	-6,46	4,41	41,73	333,716	333,716
19	C'-5"	0,05	-6,46	0,00	41,73	333,716	333,716
20	D-1	-25,95	-1,13	673,40	1,28	333,716	333,716
21	D-2	-21,95	-1,13	481,80	1,28	333,716	333,716
22	D-3	-15,95	-1,13	254,40	1,28	333,716	333,716
23	D-4	-9,95	-1,13	99,00	1,28	333,716	333,716
24	D-5	-3,95	-1,13	15,60	1,28	333,716	333,716
25	D-6	4,05	-1,13	16,40	1,28	333,716	333,716
26	D-7	10,05	-1,13	101,00	1,28	333,716	333,716
27	D-8	16,05	-1,13	257,60	1,28	333,716	333,716
28	D-9	22,05	-1,13	486,20	1,28	333,716	333,716
29	D-10	26,05	-1,13	678,60	1,28	333,716	333,716



30	E-1	-25,95	2,87	673,40	8,24	333,716	333,716
31	E-2	-21,95	2,87	481,80	8,24	333,716	333,716
32	E-3	-15,95	2,87	254,40	8,24	333,716	333,716
33	E-4	-9,95	2,87	99,00	8,24	333,716	333,716
34	E-5	-3,95	2,87	15,60	8,24	333,716	333,716
35	E-6	4,05	2,87	16,40	8,24	333,716	333,716
36	E-7	10,05	2,87	101,00	8,24	333,716	333,716
37	E-8	16,05	2,87	257,60	8,24	333,716	333,716
38	E-9	22,05	2,87	486,20	8,24	333,716	333,716
39	E-10	26,05	2,87	678,60	8,24	333,716	333,716
40	F-1	-25,95	8,87	673,40	78,68	333,716	333,716
41	F-2	-21,95	8,87	481,80	78,68	333,716	333,716
42	F-9	22,05	8,87	486,20	78,68	333,716	333,716
43	F-10	26,05	8,87	678,60	78,68	333,716	333,716
44	G-2	-21,95	10,87	481,80	118,16	333,716	333,716
45	G-3	-15,95	10,87	254,40	118,16	333,716	333,716
46	G-4	-9,95	10,87	99,00	118,16	333,716	333,716
47	G-5	-3,95	10,87	15,60	118,16	333,716	333,716
48	G-6	4,05	10,87	16,40	118,16	333,716	333,716
49	G-7	10,05	10,87	101,00	118,16	333,716	333,716
50	G-8	16,05	10,87	257,60	118,16	333,716	333,716
51	G-9	22,05	10,87	486,20	118,16	333,716	333,716
$\Sigma$				14248,54	2839,11	17019,507	17019,507

- **Lantai 2**

$$\begin{aligned}
 M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_2 \\
 &= 0,01 \text{ m} \cdot 39507,90 \text{ kg} \\
 &= 581,06 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_2 \\
 &= 0,54 \text{ m} \cdot 39507,90 \text{ kg} \\
 &= 21415,23 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)}$$

$$F_{iy} = \frac{F_2}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)}$$

No	As	X	Y	(X) <sup>2</sup>	(Y) <sup>2</sup>	Fix	Fiy
1	A-5	-3,95	-13,13	15,60	172,40	774,665	774,662
2	A-6	4,05	-13,13	16,40	172,40	774,665	774,662
3	B-2	-21,95	-9,13	481,80	83,36	774,665	774,663
4	B-3	-15,95	-9,13	254,40	83,36	774,665	774,663
5	B-4	-9,95	-9,13	99,00	83,36	774,665	774,663
6	B-5	-3,95	-9,13	15,60	83,36	774,665	774,663
7	B-6	4,05	-9,13	16,40	83,36	774,665	774,663
8	B-7	10,05	-9,13	101,00	83,36	774,665	774,663
9	B-8	16,05	-9,13	257,60	83,36	774,665	774,663
10	B-9	22,05	-9,13	486,20	83,36	774,665	774,663
11	B'-5'	-2,10	-8,48	4,41	71,91	774,665	774,663
12	B'-5"	0,05	-8,48	0,00	71,91	774,665	774,663
13	C-1	-25,95	-7,13	673,40	50,84	774,665	774,663
14	C-2	-21,95	-7,13	481,80	50,84	774,665	774,663
15	C-9	22,05	-7,13	486,20	50,84	774,665	774,663
16	C-10	26,05	-7,13	678,60	50,84	774,665	774,663
17	C'-5	-3,95	-6,46	15,60	41,73	774,665	774,663
18	C'-5'	-2,10	-6,46	4,41	41,73	774,665	774,663
19	C'-5"	0,05	-6,46	0,00	41,73	774,665	774,663
20	D-1	-25,95	-1,13	673,40	1,28	774,665	774,664
21	D-2	-21,95	-1,13	481,80	1,28	774,665	774,664
22	D-3	-15,95	-1,13	254,40	1,28	774,665	774,664
23	D-4	-9,95	-1,13	99,00	1,28	774,665	774,664
24	D-5	-3,95	-1,13	15,60	1,28	774,665	774,664

25	D-6	4,05	-1,13	16,40	1,28	774,665	774,664
26	D-7	10,05	-1,13	101,00	1,28	774,665	774,664
27	D-8	16,05	-1,13	257,60	1,28	774,665	774,664
28	D-9	22,05	-1,13	486,20	1,28	774,665	774,664
29	D-10	26,05	-1,13	678,60	1,28	774,665	774,664
30	E-1	-25,95	2,87	673,40	8,24	774,665	774,665
31	E-2	-21,95	2,87	481,80	8,24	774,665	774,665
32	E-3	-15,95	2,87	254,40	8,24	774,665	774,665
33	E-4	-9,95	2,87	99,00	8,24	774,665	774,665
34	E-5	-3,95	2,87	15,60	8,24	774,665	774,665
35	E-6	4,05	2,87	16,40	8,24	774,665	774,665
36	E-7	10,05	2,87	101,00	8,24	774,665	774,665
37	E-8	16,05	2,87	257,60	8,24	774,665	774,665
38	E-9	22,05	2,87	486,20	8,24	774,665	774,665
39	E-10	26,05	2,87	678,60	8,24	774,665	774,665
40	F-1	-25,95	8,87	673,40	78,68	774,665	774,666
41	F-2	-21,95	8,87	481,80	78,68	774,665	774,666
42	F-9	22,05	8,87	486,20	78,68	774,665	774,666
43	F-10	26,05	8,87	678,60	78,68	774,665	774,666
44	G-2	-21,95	10,87	481,80	118,16	774,665	774,667
45	G-3	-15,95	10,87	254,40	118,16	774,665	774,667
46	G-4	-9,95	10,87	99,00	118,16	774,665	774,667
47	G-5	-3,95	10,87	15,60	118,16	774,665	774,667
48	G-6	4,05	10,87	16,40	118,16	774,665	774,667
49	G-7	10,05	10,87	101,00	118,16	774,665	774,667
50	G-8	16,05	10,87	257,60	118,16	774,665	774,667
51	G-9	22,05	10,87	486,20	118,16	774,665	774,667
Σ				14248,54	2839,11	39507,895	39507,895

- **Lantai 3**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_3 \\ &= 0,07 \text{ m} \cdot 65432,17 \text{ kg} \\ &= 4738,78 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_3 \\ &= 0,52 \text{ m} \cdot 65432,17 \text{ kg} \\ &= 33899,70 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{ix} &= \frac{F_3}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\sum(x^2)} \\ F_{iy} &= \frac{F_3}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\sum(y^2)} \end{aligned}$$

No	As	X	Y	(X) <sup>2</sup>	(Y) <sup>2</sup>	Fix	Fiy
1	A-5	-3,95	-13,13	15,60	172,40	1282,984	1282,981
2	A-6	4,05	-13,13	16,40	172,40	1282,984	1282,981
3	B-2	-21,95	-9,13	481,80	83,36	1282,984	1282,982
4	B-3	-15,95	-9,13	254,40	83,36	1282,984	1282,982
5	B-4	-9,95	-9,13	99,00	83,36	1282,984	1282,982
6	B-5	-3,95	-9,13	15,60	83,36	1282,984	1282,982
7	B-6	4,05	-9,13	16,40	83,36	1282,984	1282,982
8	B-7	10,05	-9,13	101,00	83,36	1282,984	1282,982
9	B-8	16,05	-9,13	257,60	83,36	1282,984	1282,982
10	B-9	22,05	-9,13	486,20	83,36	1282,984	1282,982
11	B'-5'	-2,10	-8,48	4,41	71,91	1282,984	1282,982
12	B'-5"	0,05	-8,48	0,00	71,91	1282,984	1282,982
13	C-1	-25,95	-7,13	673,40	50,84	1282,984	1282,982
14	C-2	-21,95	-7,13	481,80	50,84	1282,984	1282,982
15	C-9	22,05	-7,13	486,20	50,84	1282,984	1282,982
16	C-10	26,05	-7,13	678,60	50,84	1282,984	1282,982
17	C'-5	-3,95	-6,46	15,60	41,73	1282,984	1282,983
18	C'-5'	-2,10	-6,46	4,41	41,73	1282,984	1282,983
19	C'-5"	0,05	-6,46	0,00	41,73	1282,984	1282,983

20	D-1	-25,95	-1,13	673,40	1,28	1282,984	1282,983
21	D-2	-21,95	-1,13	481,80	1,28	1282,984	1282,983
22	D-3	-15,95	-1,13	254,40	1,28	1282,984	1282,983
23	D-4	-9,95	-1,13	99,00	1,28	1282,984	1282,983
24	D-5	-3,95	-1,13	15,60	1,28	1282,984	1282,983
25	D-6	4,05	-1,13	16,40	1,28	1282,984	1282,983
26	D-7	10,05	-1,13	101,00	1,28	1282,984	1282,983
27	D-8	16,05	-1,13	257,60	1,28	1282,984	1282,983
28	D-9	22,05	-1,13	486,20	1,28	1282,984	1282,983
29	D-10	26,05	-1,13	678,60	1,28	1282,984	1282,983
30	E-1	-25,95	2,87	673,40	8,24	1282,984	1282,984
31	E-2	-21,95	2,87	481,80	8,24	1282,984	1282,984
32	E-3	-15,95	2,87	254,40	8,24	1282,984	1282,984
33	E-4	-9,95	2,87	99,00	8,24	1282,984	1282,984
34	E-5	-3,95	2,87	15,60	8,24	1282,984	1282,984
35	E-6	4,05	2,87	16,40	8,24	1282,984	1282,984
36	E-7	10,05	2,87	101,00	8,24	1282,984	1282,984
37	E-8	16,05	2,87	257,60	8,24	1282,984	1282,984
38	E-9	22,05	2,87	486,20	8,24	1282,984	1282,984
39	E-10	26,05	2,87	678,60	8,24	1282,984	1282,984
40	F-1	-25,95	8,87	673,40	78,68	1282,984	1282,985
41	F-2	-21,95	8,87	481,80	78,68	1282,984	1282,985
42	F-9	22,05	8,87	486,20	78,68	1282,984	1282,985
43	F-10	26,05	8,87	678,60	78,68	1282,984	1282,985
44	G-2	-21,95	10,87	481,80	118,16	1282,984	1282,986
45	G-3	-15,95	10,87	254,40	118,16	1282,984	1282,986
46	G-4	-9,95	10,87	99,00	118,16	1282,984	1282,986
47	G-5	-3,95	10,87	15,60	118,16	1282,984	1282,986
48	G-6	4,05	10,87	16,40	118,16	1282,984	1282,986
49	G-7	10,05	10,87	101,00	118,16	1282,984	1282,986
50	G-8	16,05	10,87	257,60	118,16	1282,984	1282,986

51	G-9	22,05	10,87	486,20	118,16	1282,984	1282,986
$\Sigma$				14248,54	2839,11	65432,169	65432,169

- **Lantai 4**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_4 \\ &= 0,29 \text{ m} \cdot 87874,86 \text{ kg} \\ &= 25529,56 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_4 \\ &= 0,49 \text{ m} \cdot 87874,86 \text{ kg} \\ &= 43465,91 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{ix} &= \frac{F_4}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\Sigma(x^2)} \\ F_{iy} &= \frac{F_4}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\Sigma(y^2)} \end{aligned}$$

No	As	X	Y	(X) <sup>2</sup>	(Y) <sup>2</sup>	Fix	Fiy
1	A-5	-3,96	-13,16	15,68	173,19	1757,497	1757,495
2	A-6	4,04	-13,16	16,32	173,19	1757,497	1757,495
3	B-2	-21,96	-9,16	482,24	83,91	1757,497	1757,496
4	B-3	-15,96	-9,16	254,72	83,91	1757,497	1757,496
5	B-4	-9,96	-9,16	99,20	83,91	1757,497	1757,496
6	B-5	-3,96	-9,16	15,68	83,91	1757,497	1757,496
7	B-6	4,04	-9,16	16,32	83,91	1757,497	1757,496
8	B-7	10,04	-9,16	100,80	83,91	1757,497	1757,496
9	B-8	16,04	-9,16	257,28	83,91	1757,498	1757,496
10	B-9	22,04	-9,16	485,76	83,91	1757,498	1757,496
11	B'-5'	-2,11	-8,51	4,45	72,42	1757,497	1757,496
12	B'-5"	0,04	-8,51	0,00	72,42	1757,497	1757,496
13	C-1	-25,96	-7,16	673,92	51,27	1757,497	1757,496
14	C-2	-21,96	-7,16	482,24	51,27	1757,497	1757,496
15	C-9	22,04	-7,16	485,76	51,27	1757,498	1757,496
16	C-10	26,04	-7,16	678,08	51,27	1757,498	1757,496

17	C'-5'	-2,11	-6,49	4,45	42,12	1757,497	1757,496
18	C'-5"	0,04	-6,49	0,00	42,12	1757,497	1757,496
19	D-1	-25,96	-1,16	673,92	1,35	1757,497	1757,497
20	D-2	-21,96	-1,16	482,24	1,35	1757,497	1757,497
21	D-3	-15,96	-1,16	254,72	1,35	1757,497	1757,497
22	D-4	-9,96	-1,16	99,20	1,35	1757,497	1757,497
23	D-5	-3,96	-1,16	15,68	1,35	1757,497	1757,497
24	D-6	4,04	-1,16	16,32	1,35	1757,497	1757,497
25	D-7	10,04	-1,16	100,80	1,35	1757,497	1757,497
26	D-8	16,04	-1,16	257,28	1,35	1757,498	1757,497
27	D-9	22,04	-1,16	485,76	1,35	1757,498	1757,497
28	D-10	26,04	-1,16	678,08	1,35	1757,498	1757,497
29	E-1	-25,96	2,84	673,92	8,07	1757,497	1757,498
30	E-2	-21,96	2,84	482,24	8,07	1757,497	1757,498
31	E-3	-15,96	2,84	254,72	8,07	1757,497	1757,498
32	E-4	-9,96	2,84	99,20	8,07	1757,497	1757,498
33	E-5	-3,96	2,84	15,68	8,07	1757,497	1757,498
34	E-6	4,04	2,84	16,32	8,07	1757,497	1757,498
35	E-7	10,04	2,84	100,80	8,07	1757,497	1757,498
36	E-8	16,04	2,84	257,28	8,07	1757,498	1757,498
37	E-9	22,04	2,84	485,76	8,07	1757,498	1757,498
38	E-10	26,04	2,84	678,08	8,07	1757,498	1757,498
39	F-1	-25,96	8,84	673,92	78,15	1757,497	1757,499
40	F-2	-21,96	8,84	482,24	78,15	1757,497	1757,499
41	F-9	22,04	8,84	485,76	78,15	1757,498	1757,499
42	F-10	26,04	8,84	678,08	78,15	1757,498	1757,499
43	G-2	-21,96	10,84	482,24	117,51	1757,497	1757,499
44	G-3	-15,96	10,84	254,72	117,51	1757,497	1757,499
45	G-4	-9,96	10,84	99,20	117,51	1757,497	1757,499
46	G-5	-3,96	10,84	15,68	117,51	1757,497	1757,499
47	G-6	4,04	10,84	16,32	117,51	1757,497	1757,499

48	G-7	10,04	10,84	100,80	117,51	1757,497	1757,499
49	G-8	16,04	10,84	257,28	117,51	1757,498	1757,499
50	G-9	22,04	10,84	485,76	117,51	1757,498	1757,499
$\Sigma$				14232,98	2798,50	87874,865	87874,865

- **Lantai 5**

$$\begin{aligned} M_x &= \text{Eksentrisitas } x \cdot F_5 \\ &= 0,26 \text{ m} \cdot 94672,39 \text{ kg} \\ &= 24161,99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \text{Eksentrisitas } y \cdot F_5 \\ &= 0,45 \text{ m} \cdot 94672,39 \text{ kg} \\ &= 42975,03 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{ix} &= \frac{F_5}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } x \cdot x}{\Sigma(x^2)} \\ F_{iy} &= \frac{F_5}{n \text{ kolom}} + \frac{\text{Eksentrisitas } y \cdot y}{\Sigma(y^2)} \end{aligned}$$

No	As	X	Y	(X) <sup>2</sup>	(Y) <sup>2</sup>	Fix	Fiy
1	A-5	-3,96	-13,16	15,68	173,19	1893,448	1893,446
2	A-6	4,04	-13,16	16,32	173,19	1893,448	1893,446
3	B-2	-21,96	-9,16	482,24	83,91	1893,447	1893,446
4	B-3	-15,96	-9,16	254,72	83,91	1893,448	1893,446
5	B-4	-9,96	-9,16	99,20	83,91	1893,448	1893,446
6	B-5	-3,96	-9,16	15,68	83,91	1893,448	1893,446
7	B-6	4,04	-9,16	16,32	83,91	1893,448	1893,446
8	B-7	10,04	-9,16	100,80	83,91	1893,448	1893,446
9	B-8	16,04	-9,16	257,28	83,91	1893,448	1893,446
10	B-9	22,04	-9,16	485,76	83,91	1893,448	1893,446
11	B'-5'	-2,11	-8,51	4,45	72,42	1893,448	1893,446
12	B'-5"	0,04	-8,51	0,00	72,42	1893,448	1893,446
13	C-1	-25,96	-7,16	673,92	51,27	1893,447	1893,447
14	C-2	-21,96	-7,16	482,24	51,27	1893,447	1893,447
15	C-9	22,04	-7,16	485,76	51,27	1893,448	1893,447



16	C-10	26,04	-7,16	678,08	51,27	1893,448	1893,447
17	C'-5'	-2,11	-6,49	4,45	42,12	1893,448	1893,447
18	C'-5"	0,04	-6,49	0,00	42,12	1893,448	1893,447
19	D-1	-25,96	-1,16	673,92	1,35	1893,447	1893,448
20	D-2	-21,96	-1,16	482,24	1,35	1893,447	1893,448
21	D-3	-15,96	-1,16	254,72	1,35	1893,448	1893,448
22	D-4	-9,96	-1,16	99,20	1,35	1893,448	1893,448
23	D-5	-3,96	-1,16	15,68	1,35	1893,448	1893,448
24	D-6	4,04	-1,16	16,32	1,35	1893,448	1893,448
25	D-7	10,04	-1,16	100,80	1,35	1893,448	1893,448
26	D-8	16,04	-1,16	257,28	1,35	1893,448	1893,448
27	D-9	22,04	-1,16	485,76	1,35	1893,448	1893,448
28	D-10	26,04	-1,16	678,08	1,35	1893,448	1893,448
29	E-1	-25,96	2,84	673,92	8,07	1893,447	1893,448
30	E-2	-21,96	2,84	482,24	8,07	1893,447	1893,448
31	E-3	-15,96	2,84	254,72	8,07	1893,448	1893,448
32	E-4	-9,96	2,84	99,20	8,07	1893,448	1893,448
33	E-5	-3,96	2,84	15,68	8,07	1893,448	1893,448
34	E-6	4,04	2,84	16,32	8,07	1893,448	1893,448
35	E-7	10,04	2,84	100,80	8,07	1893,448	1893,448
36	E-8	16,04	2,84	257,28	8,07	1893,448	1893,448
37	E-9	22,04	2,84	485,76	8,07	1893,448	1893,448
38	E-10	26,04	2,84	678,08	8,07	1893,448	1893,448
39	F-1	-25,96	8,84	673,92	78,15	1893,447	1893,449
40	F-2	-21,96	8,84	482,24	78,15	1893,447	1893,449
41	F-9	22,04	8,84	485,76	78,15	1893,448	1893,449
42	F-10	26,04	8,84	678,08	78,15	1893,448	1893,449
43	G-2	-21,96	10,84	482,24	117,51	1893,447	1893,450
44	G-3	-15,96	10,84	254,72	117,51	1893,448	1893,450
45	G-4	-9,96	10,84	99,20	117,51	1893,448	1893,450
46	G-5	-3,96	10,84	15,68	117,51	1893,448	1893,450

47	G-6	4,04	10,84	16,32	117,51	1893,448	1893,450
48	G-7	10,04	10,84	100,80	117,51	1893,448	1893,450
49	G-8	16,04	10,84	257,28	117,51	1893,448	1893,450
50	G-9	22,04	10,84	485,76	117,51	1893,448	1893,450
$\Sigma$				14232,98	2798,50	94672,393	94672,393

## 4.2.2 Perhitungan Stuktur Sekunder

### 4.2.2.1 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Pada perhitungan pelat ditinjau pada perhitungan pelat lantai dan pelat atap yang ditinjau pada salah satu lantai dan ukuran pelat yang dipilih dari beberapa tipe pelat yang ada.

#### 4.2.2.1.1 Perhitungan Pelat Lantai

Pada analisa perhitungan plat yang ditinjau adalah pada plat lantai 2 dengan ukuran 4x4 m dengan fungsi ruang sebagai koridor.

##### 1.) Beban mati plat yang ditinjau :

Berat pelat (12 cm)	= 288 kg/m <sup>2</sup>
Berat spesi (1 cm)	= 21 kg/m <sup>2</sup>
Berat keramik ukuran	= 16,5 kg/m <sup>2</sup>
Berat plafond	= 5,03 kg/m <sup>2</sup>
Berat penggantung	= 8 kg/m <sup>2</sup>
Pemipaan air	= 25 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik, AC, dll	= 40 kg/m <sup>2</sup> +
Total beban mati pelat (q DL)	= 403,53 kg/m <sup>2</sup>

##### 2.) Beban hidup yang ditinjau :

Beban Hidup Lantai	= 479 kg/m <sup>2</sup>
--------------------	-------------------------

##### 3.) Beban ultimate rencana

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ultimate}} &= 1,2 q_{D \text{ total}} + 1,6 q_L \\
 &= (1,2 \cdot 403,53 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 479 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 1250,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

##### 4) Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Data Perencanaan:

Tipe Pelat	= P1
$L_x$	= 4 m
$L_y$	= 4 m
$f'c$	= 30 Mpa
$f_y$	= 240 Mpa
$\beta_1$	= 0,85 ( <i>SNI 2847, pasal 10.2.7.3</i> )
$b$	= 1000 mm = 1m
$h$	= 120 mm = 0,12 m
$\rho_{susut}$	= 0,0018 ( <i>SNI 2847, Pasal 7.12.2.1</i> )
$d_x$	= 95 mm = 0,095 m
$d_y$	= 87 mm = 0,087 m
$\emptyset tul. lentur$	= 10 mm = 0,01m
$\emptyset tul. susut$	= 8 mm = 0,008 m
decking	= 20 mm = 0,02 m

Asumsi jenis pelat : jepit elastis, agar masih memungkinkan adanya torsi.



$$\frac{L_y}{L_x} < 2$$

$$\frac{4\text{ m}}{4\text{ m}} < 2$$

$$1 < 2$$

sehingga termasuk dalam pelat 2 arah

(*SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3*)

**Momen- momen pada pelat:**

$$\begin{aligned}
 M_{Lapangan\ x} &= 0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= 0,001 \times (1250,6\text{ kg/m}^2)^2 \times 21 \\
 &= 4202136,96\text{ kgm} \\
 M_{Tumpuan\ x} &= -0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= -0,001 \times (1250,6\text{ kg/m}^2)^2 \times 52 \\
 &= -10405291,52\text{ kgm} \\
 M_{Tumpuan\ y} &= -0,001 \times q_{ly}^2 \times X
 \end{aligned}$$

$$= 0,001 \times (1250,6 \text{ kg/m}^2)^2 \times 52$$

$$= 10405291,52 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} \gamma = 0,001 \times q_{lx}^2 \times X$$

$$= 0,001 \times (1250,6 \text{ kg/m}^2)^2 \times 21$$

$$= 4202136,96 \text{ kgm}$$

(PBBI 1971 Tabel 13.3.1)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 9,412$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240 \text{ N/mm}^2} = 0,0058$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 240 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$= 0,064$$

(SNI 2847:2013 B.8.42)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,064 = 0,0484$$

### Penulangan pada pelat

#### 1.) Arah X

##### a. Tumpuan X

$$M_u = -10405291,52 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{-10405291,52 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= -13006614,1 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{-13006614,1 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 1,441 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 1,441 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0062$$

**Cek persyaratan:**

$$0,0058 > 0,0062 < 0,0484 \quad \begin{matrix} \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ (Memenuhi) \end{matrix}$$

$$\text{Maka } A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0062 \times 100 \text{ mm}^2 \times 95 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ peru} = 587,57 \text{ mm}^2$$

**Kontrol jarak spasi tulangan:**

$$S_{max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 10$ , sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{587,57 \text{ mm}^2} \\ &= 133,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $S < S_{max}$  maka digunakan  $S_{pakai} = 100 \text{ mm}$

Dengan  $A_s \text{ perlu} = 587,57 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\emptyset 10$

Sehingga, tulangan pakai =  $\emptyset 10 - 100$

dengan  $A_s \text{ ada} = 785 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ ada}$$

$$587,57 \text{ mm}^2 < 785 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

**b. Lapangan X**

$$M_u = 4202136,96 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{5252671,2 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= 5252671,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{5252671,2 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 0,582 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{16,471} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 0,582 \frac{N}{mm^2} \right)}{240 \frac{N}{mm^2}} \right)^2} \right)$$

$$= 0,0025$$

**Cek persyaratan:**

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0058 > 0,0025 < 0,0484$  (Tidak Memenuhi)  
 Karena  $\rho_{min} > \rho$ , maka  $\rho =$  ditambah 30% dari  $\rho$   
 (SNI 2847:2013, pasal 10.5.3)

Sehingga  $\rho = 1,3 \times \rho$

$$\rho = 1,3 \times 0,0025$$

$$\rho = 0,00319$$

$$\text{Sehingga } A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00319 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 302,99 \text{ mm}^2$$

**Kontrol jarak spasi tulangan:**

$$S_{max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 8$ , sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{302,99 \text{ mm}^2}$$

$$= 165,95 \text{ mm}$$

Karena  $S < S_{max}$  maka digunakan  $S_{pakai} = 150 \text{ mm}$

Dengan  $A_s \text{ perlu} = 302,99 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\emptyset 8$

Sehingga, tulangan pakai =  $\emptyset 8 - 150$

dengan  $A_s \text{ ada} = 334,93 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ ada}$$

$$302,99 \text{ mm}^2 < 334,93 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

## 2.) Arah Y

## a. Tumpuan Y

$$M_u = 10405291,5 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{10405291,5 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= 13006614,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_y^2} = \frac{13006614,4 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (87 \text{ mm})^2} = 1,718 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 1,718 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\ &= 0,0074 \end{aligned}$$

**Cek persyaratan:**

$$0,0058 > 0,0074 < 0,0484 \quad \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \quad (\text{Memenuhi})$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho$ , maka  $\rho = 0,0074$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0074 \times 1000 \text{ mm} \times 87 \text{ mm} \\ &= 645,46 \end{aligned}$$

**Kontrol jarak spasi tulangan:**

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2h \\ &\leq 2 \times 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\phi 12$ , sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{645,46 \text{ mm}^2} \\ &= 175,29 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $S > S_{max}$  maka digunakan  $S_{pakai} = 150$

Dengan  $A_{s\text{ perlu}} = 645,46 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\emptyset 12$

Sehingga, tulangan pakai =  $\emptyset 12 - 150$

dengan  $A_{s\text{ ada}} = 753,6 \text{ mm}^2$

$$A_{s\text{ perlu}} < A_{s\text{ ada}}$$

$$645,46 \text{ mm}^2 < 753,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

b. Lapangan Y

$$M_u = 4202136,96 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4202136,96 \text{ Nmm}}{0,8} = 5252671,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{5252671,2 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (87 \text{ mm})^2} = 0,694 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 0,694 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\ &= 0,0029 \end{aligned}$$

**Cek persyaratan:**

$$0,0058 > 0,0029 < 0,0484 \quad \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena  $\rho_{min} > \rho$ , maka  $\rho = \text{ditambah } 30\% \text{ dari } \rho$   
(SNI 2847:2013, pasal 10.5.3)

Sehingga  $\rho = 1,3 \times \rho$

$$\rho = 1,3 \times 0,0029$$

$$\rho = 0,00381$$

Sehingga  $A_{s\text{ perlu}} = \rho \times b \times d$

$$= 0,00381 \times 1000 \text{ mm} \times 87 \text{ mm}$$

$$= 331,61 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{max} \leq 2h$$



$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\phi 10$ , sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{331,61 \text{ mm}^2} \\ &= 151,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $S > S_{\max}$  maka digunakan  $S_{\text{pakai}} = 150$

Dengan  $A_{s \text{ perlu}} = 331,61 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\phi 8$

Sehingga, tulangan pakai =  $\phi 8 - 150$

dengan  $A_{s \text{ ada}} = 334,93$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$331,61 \text{ mm}^2 < 334,93 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

### Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 240 dipakai  $\rho_{\text{susut}} = 0,002$ .

$$\begin{aligned} A_{s \text{ susut perlu}} &= \rho_{\text{susut}} \times h \times b \\ &= 0,002 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)}$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\phi 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ susut}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2} \\ &= 232,59 \text{ mm} \end{aligned}$$

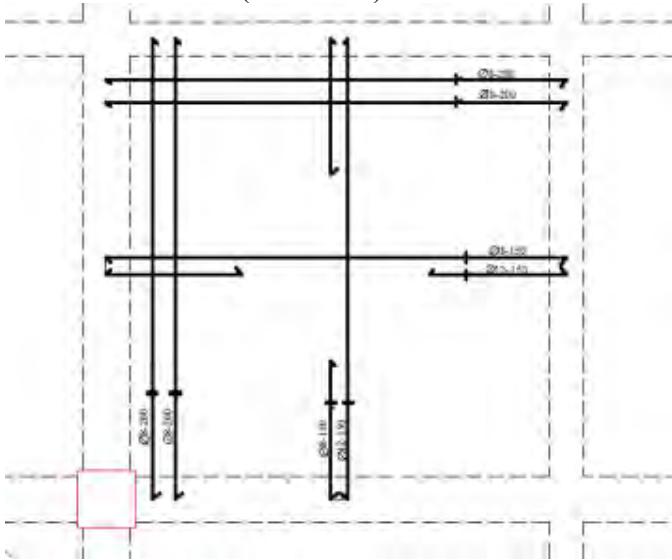
$$S = 232,59 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$\rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai  $\phi 8 - 200 \text{ mm}$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\frac{1}{4} \pi (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\
 &= 251,2 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ susut}} = 216 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 14 : Penulangan pelat lantai

#### 4.2.2.1.2 Perhitungan Pelat Atap

Pada analisa perhitungan plat yang ditinjau adalah pada pelat atap dengan ukuran 4x4 m.

1.) Beban mati plat yang ditinjau :

Berat pelat (12 cm)	= 288 kg/m <sup>2</sup>
Berat spesi (1 cm)	= 21 kg/m <sup>2</sup>
Berat keramik ukuran	= 16,5 kg/m <sup>2</sup>
Berat plafond	= 5,03 kg/m <sup>2</sup>
Berat penggantung	= 8 kg/m <sup>2</sup>
Pemipaan air	= 25 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik, AC, dll	= 40 kg/m <sup>2</sup> +
Total beban mati pelat (q DL)	= 403,53 kg/m <sup>2</sup>

2.) Beban hidup yang ditinjau :

$$\text{Beban Hidup Lantai} = 479 \text{ kg/m}^2$$

3.) Beban ultimate rencana

$$\begin{aligned} q_{ultimate} &= 1,2 q_{D \text{ total}} + 1,6 q_L \\ &= (1,2 \cdot 403,53 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 479 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1250,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Data Perencanaan:

Tipe Pelat	=	P1
$L_x$	=	4 m
$L_y$	=	4 m
$f_c'$	=	30 Mpa
$f_y$	=	240 Mpa
$\beta_1$	=	0,85 ( <i>SNI 2847, pasal 10.2.7.3</i> )
$b$	=	1000 mm = 1 m
$h$	=	120 mm = 0,12 m
$\rho_{susut}$	=	0,0018 ( <i>SNI 2847, Pasal 7.12.2.1</i> )
$d_x$	=	95 mm = 0,095 m
$d_y$	=	87 mm = 0,087 m
$\phi_{tul. \text{ lentur}}$	=	10 mm = 0,01 m
$\phi_{tul. \text{ susut}}$	=	8 mm = 0,008 m
$decking$	=	20 mm = 0,02 m

Asumsi jenis pelat : jepit elastis, agar masih memungkinkan adanya torsi.



$$\begin{aligned} \frac{L_y}{L_x} &< 2 \\ \frac{4 \text{ m}}{4 \text{ m}} &< 2 \\ 1 &< 2 \end{aligned}$$

sehingga termasuk  
dalam pelat 2 arah  
(SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3)

**Momen- momen pada pelat:**

$$\begin{aligned} M_{Lapangan \ X} &= 0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\ &= 0,001 \times (1250,6 \text{ kg/m}^2)^2 \times 21 \\ &= 4202136,96 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Tumpuan \ X} &= -0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\ &= -0,001 \times (1250,6 \text{ kg/m}^2)^2 \times 52 \\ &= -10405291,52 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Tumpuan \ Y} &= -0,001 \times q_{ly}^2 \times Y \\ &= 0,001 \times (1250,6 \text{ kg/m}^2)^2 \times 52 \\ &= 10405291,52 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Lapangan \ Y} &= 0,001 \times q_{ly}^2 \times Y \\ &= 0,001 \times (1250,6 \text{ kg/m}^2)^2 \times 21 \\ &= 4202136,96 \text{ kgm} \end{aligned}$$

(PBB 1971 Tabel 13.3.1)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 9,412$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240 \text{ N/mm}^2} = 0,0058$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 240 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,064 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 B.8.42)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,064 = 0,0484$$

**Penulangan pada pelat**

3.) Arah X

c. Tumpuan X

$$M_u = -10405291,52 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{-10405291,52 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{-13006614,1 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 1,441 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 1,441 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\
 &= 0,0062
 \end{aligned}$$

**Cek persyaratan:**

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,0058 > 0,0062 < 0,0484 \quad (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
 A_s \text{ perlu} &= 0,0062 \times 100 \text{ mm}^2 \times 95 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ perlu} &= 587,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

**Kontrol jarak spasi tulangan:**

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\leq 2h \\
 &\leq 2 \times 120 \text{ mm} \\
 &\leq 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\phi 10$ , sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{587,57 \text{ mm}^2} \\
 &= 133,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena  $S < S_{\max}$  maka digunakan  $S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Dengan  $A_s \text{ perlu} = 587,57 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\phi 10$

Sehingga, tulangan pakai =  $\phi 10 - 100$

$$\text{dengan } A_s \text{ ada} = 785 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ ada}$$

$$587,57 \text{ mm}^2 < 785 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

d. Lapangan X

$$M_u = 4202136,96 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{5252671,2 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= 5252671,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{5252671,2 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 0,582 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{16,471} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 0,582 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\ &= 0,0025 \end{aligned}$$

**Cek persyaratan:**

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0058 > 0,0025 < 0,0484 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , maka  $\rho = \text{ditambah } 30\% \text{ dari } \rho$   
**(SNI 2847:2013, pasal 10.5.3)**

$$\text{Sehingga } \rho = 1,3 \times \rho$$

$$\rho = 1,3 \times 0,0025$$

$$\rho = 0,00319$$

$$\text{Sehingga } A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00319 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 302,99 \text{ mm}^2$$

**Kontrol jarak spasi tulangan:**

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\phi 8$ , sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{302,99 \text{ mm}^2}$$

$$= 165,95 \text{ mm}$$

Karena  $S < S_{\max}$  maka digunakan  $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Dengan  $A_s \text{ perlu} = 302,99 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan Ø8

Sehingga, tulangan pakai = Ø8 – 150

dengan  $A_s \text{ ada} = 334,93 \text{ mm}^2$

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ ada}$$

$$302,99 \text{ mm}^2 < 334,93 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

4.) Arah Y

c. Tumpuan Y

$$M_u = 10405291,5 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{10405291,5 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= 13006614,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_y^2} = \frac{13006614,4 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (87 \text{ mm})^2} = 1,718 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 1,718 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0074$$

**Cek persyaratan:**

$$0,0058 > 0,0074 < 0,0484 \quad (\text{Memenuhi})$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho$ , maka  $\rho = 0,0074$

Sehingga  $A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$

$$= 0,0074 \times 1000 \text{ mm} \times 87 \text{ mm}$$

$$= 645,46$$

**Kontrol jarak spasi tulangan:**

$$S_{max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120mm$$

$$\leq 240mm$$

Dipakai tulangan  $\phi 12$ , sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{645,46 \text{ mm}^2}$$

$$= 175,29 \text{ mm}$$

Karena  $S > S_{max}$  maka digunakan  $S_{pakai} = 150$

Dengan  $A_{s \text{ perlu}} = 645,46 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\phi 12$

Sehingga, tulangan pakai =  $\phi 12 - 150$

dengan  $A_{s \text{ ada}} = 753,6 \text{ mm}^2$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$645,46 \text{ mm}^2 < 753,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

d. Lapangan Y

$$M_u = 4202136,96 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4202136,96 \text{ Nmm}}{0,8} = 5252671,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{5252671,2 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (87 \text{ mm})^2} = 0,694 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 9,412 \times \left( 0,694 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0029$$



**Cek persyaratan:**

$$0,0058 > 0,0029 < 0,0484 \quad \begin{matrix} \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ (Tidak Memenuhi) \end{matrix}$$

Karena  $\rho_{min} > \rho$ , maka  $\rho = \text{ditambah } 30\% \text{ dari } \rho$   
(SNI 2847:2013, pasal 10.5.3)

Sehingga  $\rho = 1,3 \times \rho$

$$\rho = 1,3 \times 0,0029$$

$$\rho = 0,00381$$

Sehingga  $A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d$

$$\begin{aligned} &= 0,00381 \times 1000 \text{ mm} \times 87 \text{ mm} \\ &= 331,61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 10$ , sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{331,61 \text{ mm}^2} \\ &= 151,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $S > S_{max}$  maka digunakan  $S_{pakai} = 150$

Dengan  $A_{s \text{ perlu}} = 331,61 \text{ mm}^2$ , dipakai tulangan  $\emptyset 8$

Sehingga, tulangan pakai =  $\emptyset 8 - 150$

dengan  $A_{s \text{ ada}} = 334,93$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$331,61 \text{ mm}^2 < 334,93 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

**Tulangan Susut**

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 240 dipakai  $\rho_{susut} = 0,002$ .

$$\begin{aligned} A_{s \text{ susut perlu}} &= \rho_{susut} \times h \times b \\ &= 0,002 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{max} \leq 5h \text{ atau } S_{max} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)}$$

$$S_{max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 8$

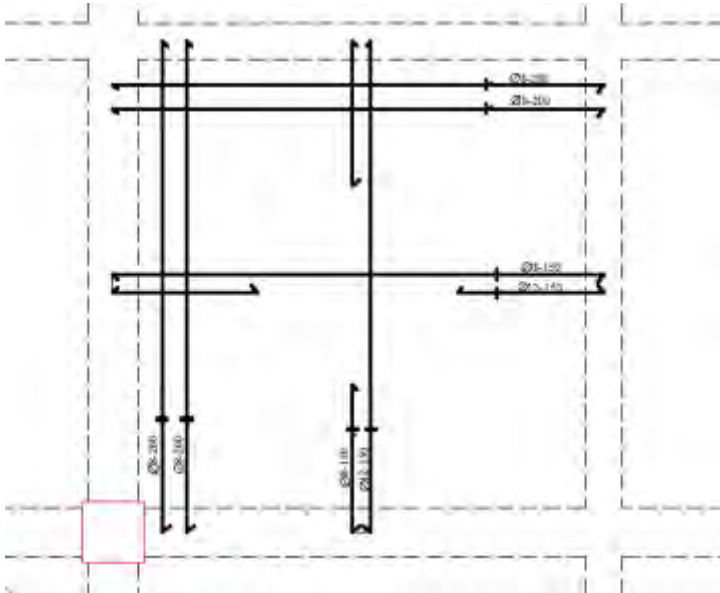
$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ susut}}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2} = 232,59 \text{ mm}$$

$$S = 232,59 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$\rightarrow S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai  $\emptyset 8 - 200 \text{ mm}$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} = \frac{\frac{1}{4} \pi (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 251,2 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ susut}} = 216 \text{ mm}^2$$



Gambar 4. 15 : Penulangan pelat atap

#### 4.2.2.2 Perhitungan Pelat Tangga dan bordes

##### 4.2.2.2.1 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

Data perencanaan :

Tipe pelat : Pelat Tangga

As pelat : F.9-10

Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 240 Mpa

Ø tulangan lentur : 14 mm

Decking : 20 mm

b : 1000 mm

$\beta_1$  : 0,8

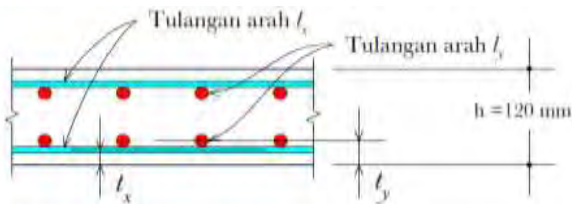
(SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi ( $\phi$ ) : 0,9

(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.7)

Tebal plat tangga (t) : 150 mm

**-Tinggi Efektif Pelat**



$$\begin{aligned} d_x &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 14 \text{ mm} \\ &= 123 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t - \text{decking} - \text{Øtulangan} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 14 \text{ mm} - \frac{1}{2} 14 \text{ mm} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{240} \left[ \frac{600}{600 + 240} \right] = 0,061 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3)

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75\rho_b = 0,046$$

(SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,41$$

- **Penulangan pelat tangga arah Y**

$$M_{22} = 26558000 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 26558000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{26558000 \text{ Nmm}}{0,9} = 29508888,89 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{29508888,89 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (123 \text{ mm})^2} = 1,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 1,95 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0085 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0,0058 < 0,0085 < 0,048 \text{ (OK)}$$

Maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0085 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123 \text{ mm} \\ &= 1041,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)

Dipakai tulangan Ø 14, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (123 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{1041,09 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$= 147,86 \text{ mm}$$

$$S < S_{\max}$$

$$147,86 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka  $S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai  $\emptyset 14 - 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (14 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}^2} \\ &= 1539,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{240 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \cdot 123 \text{ mm} \\ &= 701,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*(SNI 2847-2013, Pasal 10.5.1)*

$$A_{S_{\min}} < A_{S_{\text{perlu}}} < A_{S_{\text{pakai}}}$$

$$701,77 \text{ mm}^2 < 1041,09 \text{ mm}^2 < 1539,38 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- **Penulangan pelat tangga arah X**

$$M_{11} = 14072000 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 14072000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{14072000 \text{ Nmm}}{0,9} = 15635555,56 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{15635555,56 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (109 \text{ mm})^2} = 1,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 1,32 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0056 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,0056 < 0,048 \text{ (NOK)}$$

Karena tidak memenuhi persyaratan

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} \times 1,3 &= 0,0056 \times 1,3 \\ &= 0,0073 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,00583 < 0,0073 < 0,048 \quad (\text{OK})$$

Maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0073 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 109 \text{ mm}$$

$$= 798,15 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{\max} \leq 2 \cdot h$$

$$\leq 2 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$\leq 300 \text{ mm}$$

**(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)**

Dipakai tulangan Ø 14, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (109 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{798,15 \text{ mm}^2}$$

$$= 192,87 \text{ mm}$$

$$S < S_{\max}$$

$$192,87 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Dengan pembulatan kebawah, maka  $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai Ø 14 – 150 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (14 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}^2}$$

$$= 1026,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{240 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \cdot 109 \text{ mm}$$

$$= 621,89 \text{ mm}^2$$

**(SNI 2847-2013, Pasal 10.5.1)**

$$A_{s_{\min}} < A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pakai}}}$$

$$621,89 \text{ mm}^2 < 798,15 \text{ mm}^2 < 1026,25 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

**Tulangan susut dan suhu**

Didapatkan  $\rho_{\text{susut pakai}} = 0,0018$

$$\begin{aligned} A_{\text{susut perlu}} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_{\text{susut perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{270 \text{ mm}^2} \\ &= 186,17 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 5 \cdot h \\ &\leq 5 \cdot 150 \text{ mm} \\ &\leq 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

*(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)*

$$S < S_{\text{max}}$$

$$186,17 \text{ mm} < 750 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka  $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai  $\emptyset 8 - 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{\text{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}^2} \\ &= 335,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{\text{pakai}} > A_{\text{perlu}}$$

$$335,10 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

#### 4.2.2.2.2 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

Data perencanaan :

Tipe pelat : Pelat Bordes

Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 240 Mpa

Ø tulangan lentur : 14 mm

Decking : 20 mm

b : 1000 mm

$\beta_1$  : 0,8

*(SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3)*

Faktor reduksi ( $\phi$ ) : 0,9

*(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.7(a))*

Tebal plat bordes (t) : 150 mm

#### -Tinggi Efektif Pelat

$$\begin{aligned} d_x &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 14 \text{ mm} \\ &= 123 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= t - \text{decking} - \text{Øtulangan} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 14 \text{ mm} - \frac{1}{2} 14 \text{ mm} \\ &= 109 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 30}{240} \left[ \frac{600}{600 + 240} \right] = 0,061 \end{aligned}$$

*(SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3)*

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,046$$

*(SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3)*

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,41$$

#### - Penulangan pelat bordes arah Y

$$M_{22} = 33996700 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 33996700 \text{ Nmm}$$



$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{33996700 \text{ Nmm}}{0,9} = 37774111,11 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{37774111,11 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (123 \text{ mm})^2} = 2,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 2,50 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,012 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,012 < 0,048 \text{ (OK)}$$

Maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,012 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123 \text{ mm} \\ &= 1349,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\ &\leq 2 \cdot 150 \text{ mm} \\ &\leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

**(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)**

Dipakai tulangan Ø 14, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (123 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{1349,26 \text{ mm}^2} \\ &= 114,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S < S_{\max}$$

$$114,09 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka  $S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai Ø 14 – 100 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (14 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1539,38 \text{ mm}^2 \\
 A_{s_{\min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{240 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \cdot 123 \text{ mm} \\
 &= 701,77 \text{ mm}^2 \\
 &\quad \text{(SNI 2847-2013, Pasal 10.5.1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &A_{s_{\min}} < A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pakai}}} \\
 701,77 \text{ mm}^2 &< 1349,26 \text{ mm}^2 < 1539,38 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

- **Penulangan pelat bordes arah X**

$$M_{1l} = 21082200 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 21082200 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{21082200 \text{ Nmm}}{0,9} = 23424666,67 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{23424666,67 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (109 \text{ mm})^2} = 1,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{9,412} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 1,97 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right) \\
 &= 0,0086
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0058 < 0,0086 < 0,048 \text{ (OK)}$$

Maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0086 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 109 \text{ mm} \\
 &= 933,02 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &\leq 2 \cdot h \\
 &\leq 2 \cdot 150 \text{ mm} \\
 &\leq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal 7.6.4)

Dipakai tulangan Ø 14, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (109 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{933,02 \text{ mm}^2} \\
 &= 164,99 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S < S_{\text{max}}$$

$$164,99 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka  $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai  $\emptyset 14 - 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (14 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}^2} \\
 &= 1026,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

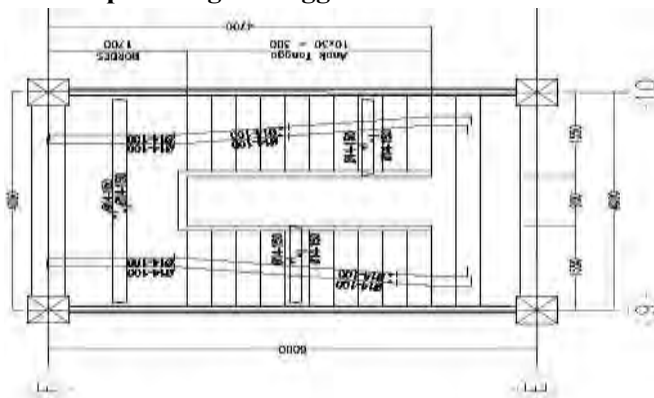
$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{min}}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{240 \text{ Mpa}} \cdot 1000 \cdot 109 \text{ mm} \\
 &= 621,89 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013, Pasal 10.5.1)

$$A_{s_{\text{min}}} < A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pakai}}}$$

$$621,89 \text{ mm}^2 < 933,02 \text{ mm}^2 < 1026,25 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Gambar penulangan tangga**



Gambar 4. 16 : Penulangan tangga

- **Rekapitulasi penulangan tangga**

Tabel 10 : Rekapitulasi penulangan tangga

Tipe	Arah X		Susut Arah X		Arah Y		Susut Arah Y	
	Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Plat bordes 1	16	150	8	150	16	100	-	-
Plat tangga 1	16	100	8	150	16	100	8	150
Plat bordes 2	14	150	8	150	14	100	-	-
Plat tangga 2	14	150	8	150	14	100	8	150

#### 4.2.2.2.3 Perhitungan Tulangan Balok Bordes

Perhitungan tulangan balok BB cm Berikut ini adalah data perencanaan balok borders hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

##### A. Data Perencanaan Balok :

Tipe balok	: BB
Bentang balok	: 4000 mm
Dimensi Balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi Balok (h balok)	: 400 mm
Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )	: 30 $N/mm^2$
Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ )	: 400 $N/mm^2$
Kuat Leleh Tul. Geser ( $f_{yv}$ )	: 240 $N/mm^2$
Kuat Leleh Tul. Puntir ( $f_{yt}$ )	: 400 $N/mm^2$
Diameter Tulangan Lentur	: D 22
Diameter Tulangan Geser	: $\phi$ 10
Diameter Tulangan Puntir	: $\phi$ 19
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
---------------------------------	---------

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))

Faktor $\beta_1$	: 0,85
------------------	--------

(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7 (3))

Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9  
*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))*  
 Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75  
*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*  
 Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75  
*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*

Maka perhitungan tinggi efektif balok :

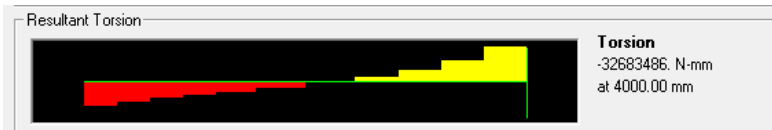
$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 400\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 22\text{mm} \\
 &= 339\text{ mm} \\
 d' &= h - d \\
 &= 600\text{ mm} - 339\text{ mm} = 61\text{ mm}
 \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Tulangan

Dalam perhitungan balok bordes didapatkan gaya dalam dan diagram gaya dari analisa program SAP 2000 yang memodelkan stuktur bangunan yang ditinjau. Pada hasil output analisa SAP 2000 digunakan data yang menunjukkan analisa gaya terbesar dari semua frame balok bordes pada stuktur bangunan, sehingga didapatkan pada frame 1736 pemodelan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$  dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP 2000 :

### Hasil Output Torsi

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$   
 Momen Puntir : 32683486 Nmm

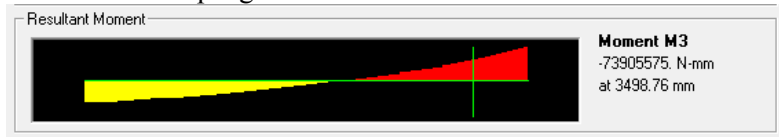


Gambar 4. 17 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$

Momen lapangan : 73905575 Nmm



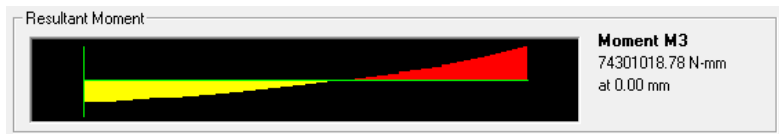
Gambar 4. 18 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok



Gambar 4. 19 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$

Momen Tumpuan kanan : -122702484 Nmm



Gambar 4. 20 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kiri

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$

Momen Tumpuan kiri : -74301018.78 Nmm

### Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$  didapatkan gaya geser terfaktor dengan  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom berdasarkan **(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2)**

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L$

Gaya geser  $V_u$  : 101936.93N



Gambar 4. 21 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom

- ❖ Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran balok bordes yang dipakai 30cm x 40 cm

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 300mm \times 400mm = 120000 \text{ mm}^2$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (300mm + 400mm) = 1400 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser})$$

$$= (300mm - 2 \times 40mm - 2 \times 10mm) \times (400mm - 2 \times 40mm - 2 \times 10mm)$$

$$= 60000 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times [(300 - 2 \times 40\text{mm} - 2 \times 10\text{mm}) \\
 &\quad + (400\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} \\
 &\quad - 2 \times 10\text{mm})] \\
 &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan Tulangan Puntir**

#### Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: (1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L

$$T_u = 32683486 \text{ Nmm}$$

#### Momen Puntir Nominal

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = \frac{32683486 \text{ Nmm}}{0,75} = 43577981,33 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi: (1,2D+0,2Sds)D+(1.3X,0.3Y)+L

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari beberapa kondisi yakni:

$$\begin{aligned}
 T_{u_{min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &(\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a)})
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{min}} &= 0,75 \times 0,083 \\
 &\quad \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}} \right) \\
 &= 3506989,29 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  diambil sebesar

$$\begin{aligned}
 T_{u_{max}} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &(\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a)})
 \end{aligned}$$



Maka :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{\max}} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{\max}} &= 0,75 \times 0,33 \\
 &\quad \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}} \right) \\
 &= 13943451,39 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{\min}}$  maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u_{\min}}$  maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi

$$T_u = 32683486 \text{ Nmm} > T_{u_{\min}} = 3506989,29 \text{ Nmm}$$

**(Memerlukan tulangan puntir)**

#### ❖ Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan punter sesuai dengan (***SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7***) direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

Dengan  $A_t/s$  dihitung sesuai dengan (***SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6***) berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt} \cot \theta}$$

Maka :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{43577981,33 \text{ Nmm}}{2 \times 60000 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Nmm} \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 1,07 \text{ mm}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \emptyset$$

$$A_l = 1,07 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \cot^2 45$$

$$A_l = 1068,09 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

$$0,241 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 400 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$0,241 \text{ mm} \geq 0,175 \text{ mm}$$

Maka nilai  $A_t/s$  diambil = 0.175 mm

Chek nilai  $A_l$  min dengan persamaan :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times Ph \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai  $A_{lmin}$  :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 120000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 1,07 \text{ mm} \right) \times 1000 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{lmin} = 558,88 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan  $A_l$  dengan 2 kondisi yakni

$$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}} \text{ Maka menggunakan } A_{l\text{min}}$$

$$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}} \text{ Maka menggunakan } A_{l\text{perlu}}$$

Maka ;

$$A_{l_{\text{perlu}}} \leq A_{l_{\text{min}}} \\ 1068,09 \text{ mm}^2 \leq 558,88 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai  $A_l$  perlu sebesar  $1068,09 \text{ mm}^2$   
Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1068,09 \text{ mm}^2}{4} = 267,02 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Untuk sisi samping balok mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $0,5 \times A_l$ , sehingga  $A_l$  pada sisi samping balok adalah  $534,04 \text{ mm}^2$  direncanakan tulangan diameter 19 mm maka jumlah tulangan puntirnya adalah :

$$n = \frac{A_l}{\text{Luas tulangan}} \\ n = \frac{534,04 \text{ mm}^2}{283,64 \text{ mm}^2} \\ n = 1,88 \approx 2 \text{ Buah}$$

Kontrol  $A_l \text{ pasang} > A_l \text{ perlu}$

$$A_l \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{Luasan D puntir} \\ = 2 \times (0,25 \times 22/7 \times (19 \text{ mm})^2) \\ = 567,29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka} \quad = A_l \text{ pasang} > A_l \text{ perlu} \\ = 567,29 \text{ mm}^2 > 534,04 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, kanan dan lapangan dipasang sebesar **2 D 19**.

## B.2 Perhitungan Tulangan Lentur

### Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 339 \text{ mm} = 203,4 \text{ mm}$$

### Garis Netral Maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 203,4 \text{ mm}$$

$$= 152,55 \text{ mm}$$

### Garis Netral Minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 61 \text{ mm}$$

### Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

### Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 400 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm}$$

$$= 650250 \text{ N}$$

### Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$Asc = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 300 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$= 1625,63 \text{ mm}^2$$

### Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = Asc \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$= 1625,63 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\times \left( 339 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 100 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 192799125 \text{ Nmm}$$

### Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $(1,2D+0,2Sds)D+(1,3X,0,3Y)+L$

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 456523247 \text{ Nmm}$$

#### Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 122702484 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{122702484 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 136336093,3 \text{ Nmm}$$

#### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 136336093,3 \text{ Nmm} - 192799125 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -56463031,67 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{136336093,3 \text{ Nmm}}{300\text{mm} \times (339\text{mm})^2} = 3,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30\text{N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$(SNI 2847:2013, \text{ Lampiran B.10.3.3}) \\ = 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,95}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,0108 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,0108 < 0,0244 \text{ (memenuhi)} \\ A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,0108 \times 300 \text{ mm} \times 339 \text{ mm} \\ &= 1098,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 1098,49 \text{ mm}^2 + 267,07 \text{ mm}^2 \\ &= 1365,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{1365,51 \text{ mm}^2}{380,28 \text{ mm}^2} \\
 &= 3,59 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 4 \times 380,28 \text{ mm}^2 \\
 &= 1521,14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= 1521,14 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = \\
 &1365,51 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $As'$  adalah :

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,3 \times As \\
 As' &= 0,3 \times 1521,14 \text{ mm}^2 \\
 As' &= 456,34 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 19 mm :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}} \\
 &= \frac{456,34 \text{ mm}^2}{283,64 \text{ mm}^2} \\
 n &= 1,6 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &= 567,29 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = \\
 &456,34 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (4 \times 22\text{mm})}{4 - 1} \\ &= 37,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 37,3 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 19 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 162 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes untuk daerah tumpuan kanan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D22

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen



negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 4D22 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (22\text{mm})^2 \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{mm})^2 \\ &= 567,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$567,29 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1134,57 \text{ mm}^2$$

$$567,29 \text{ mm}^2 \geq 378,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D22

Tulangan tekan : 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{\text{pakai}}} \text{ tulangan tarik } 4D22 = 1521,14 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1521,14 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300\text{mm}} \\ &= 79,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n = 182069579,62$$

Maka,

$$M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$182069579,62 \text{ Nmm} > 136336093,33 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

### **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $(1,2D+0,2Sds)D+(1,3X,0,3Y)+L$

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 74301018,78 \text{ Nmm}$$

#### Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_u = 74301018,78 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{74301018,78 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 82556687,53 \text{ Nmm}$$

#### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 82556687,53 \text{ Nmm} - 192799125 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -110242437,47 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{82556687,53 \text{ Nmm}}{300\text{mm} \times (339\text{mm})^2} = 2,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,39}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,0065\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\ 0,0033 &< 0,0063 < 0,0244 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,0063 \times 300 \text{ mm} \times 339 \text{ mm} \\ &= 596,06 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2 \\
 &= 380,28 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{Al}{4} \\
 &= 596,06 \text{ mm}^2 + 267,07 \text{ mm}^2 \\
 &= 863,03 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{863,03 \text{ mm}^2}{380,28 \text{ mm}^2} \\
 &= 2,27 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 3 \times 380,28 \text{ mm}^2 \\
 &= 1140,86 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

***Kontrol***

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 1140,86 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = \\
 &863,08 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 A_s' &= 0,3 \times 1140,86 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 342,26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 19 mm :

$$n = \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{342,26 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,21 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 567,29 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 342,26 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 3D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19.

### ***Kontrol Tulangan Tarik***

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (3 \times 22 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$= 67 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 67 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### ***Kontrol Tulangan Tekan***

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 19 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 162 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes untuk daerah tumpuan kiri bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 3D22

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 3D22 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (22\text{mm})^2 \\ &= 850,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{mm})^2 \\ &= 567,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$567,29 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 850,93 \text{ mm}^2$$

$$567,29 \text{ mm}^2 \geq 283,64 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 3D22

Tulangan tekan : 2D19

**Kontrol kemampuan penampang**

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik } 3D22 = 1140,86 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{1140,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$= 59,65 \text{ mm}$$

$$M_n = 130365138,54$$

Maka,

$$M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$130365138,54 \text{ Nmm} > 82556687,53 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes untuk daerah tumpuan kiri bentang 4m

Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 3D22

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19. Akan tetapi untuk pelaksanaan penulangan disamakan dengan tumpuan kanan balok untuk memudahkan pelaksanaan penulangan.

**Daerah Lapangan**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $(1,2D+0,2Sds)D+(1,3X,0,3Y)+L$

$$M_{u \text{ lapangan}} = 73905575 \text{ Nmm}$$

**Momen Lentur Nominal**

$$M_n = \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi}$$

$$= \frac{73905575 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 82117305,56 \text{ Nmm}$$

**Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap**

Syarat:

$$M_{ns} \geq 0 \rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} \leq 0 \rightarrow \text{maka tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 82117305,56 \text{ Nmm} - 192799125 \text{ Nmm} \\
 &= -110681819,44 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$M_{ns} = -110681819,44 \text{ Nmm} \leq 0$  (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

### **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{82117305,56 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (529 \text{ mm})^2} = 2,38 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)
 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,38}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right)$$

$$= 0,0063$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$



$$0,0035 < 0,0063 < 0,0244 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,0063 \times 300\text{mm} \times 339\text{mm} \\ &= 636,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (19\text{mm})^2 \\ &= 283,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 636,86 \text{ mm}^2 + 267,02 \text{ mm}^2 \\ &= 903,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\ &= \frac{903,89 \text{ mm}^2}{283,64 \text{ mm}^2} = 3,18 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\ &= 4 \times 283,64 \text{ mm}^2 \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### ***Kontrol***

$$A_{s \text{ pasang}} = 1134,57 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 903,89 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$As' = 0,3 \times 1134,57 \text{ mm}^2$$

$$As' = 340,37 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 22 mm :

$$n = \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{340,37 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,50 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 760,57 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 340,37 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (4 \times 19\text{mm})}{4 - 1} \\ &= 41,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 41,35 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (\text{jumlahtul} \times D_{lentur})}{\text{jumlahtulangan} - 1}$$

$$= \frac{300mm - (2 \times 40mm) - (2 \times 10mm) - (2 \times 22mm)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 156 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes daerah lapangan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$A_{s_{pasang}} = 4D19$$

$$= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (19mm)^2$$

$$= 1521,14 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'_{pasang}} = 2D22$$

$$= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 760,57 \text{ mm}^2$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1521 \text{ mm}^2$$

$$760,57 \text{ mm}^2 \geq 507,05 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D19

Tulangan tekan : 2D22

### Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik } 4D19 = 1521 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1521 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\ &= 59,32 \text{ mm} \\ M_n &= 140386423,48 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} M_n &\geq M_u \\ 140386423,48 \text{ Nmm} &> 82117305,56 \text{ Nmm} \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok bordes daerah lapangan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D22

### Perhitungan Tulangan Geser

Data Perencanaan balok sebagai berikut:

$f_c'$	= 30 N/mm <sup>2</sup>
$f_y$	= 240 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$	= 0,85
$\phi_{reduksi}$	= 0,75
Lebar	= 300 mm
Tinggi	= 400 mm
$\phi_{sengkang}$	= 10 mm

- ❖ Dalam analisa perhitungan tulangan lentur didapatkan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan

tulangan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan sebagai berikut :

➤ Tumpuan kanan

- As pakai tulangan tarik 4D22 = 1521,14 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 2D19 = 567,29 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{567,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 29,66 \text{ mm}$$

$$Mn_R = As \text{ tul tarik} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn_R = 1521,14 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(339 \text{ mm} - \frac{29,66 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mn_R = 197242944,11 \text{ Nmm}$$

➤ Tumpuan kiri

- As pakai tulangan tarik 3D22 = 1140,86 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 2D19 = 567,29 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

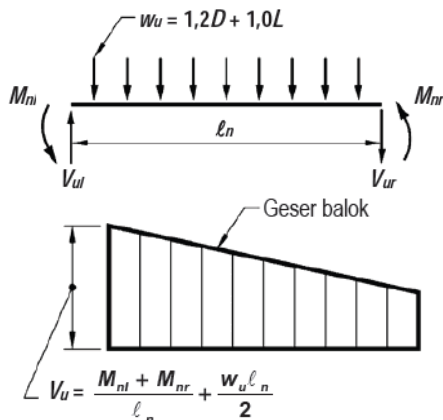
$$a = \frac{1140,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 59,65 \text{ mm}$$

$$Mn_L = As \text{ tul lentur} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn_L = 1140,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(339 \text{ mm} - \frac{59,65 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mn_L = 141089195,68 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 22 : Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi  $(1,2D+0,2Sds)D+(1,3X,0,3Y)+L$  dari analisa SAP 2000 didapatkan gaya geser terfaktor sebesar  $V_u = 101936,93 \text{ N}$

**Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari**

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))**

Dimana:

$V_{u1}$  : gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$l_n$  : panjang balok bersih

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$= \frac{141089195,68 \text{ Nmm} + 197242944,11 \text{ Nmm}}{3500 \text{ mm}} + 101936,93 = 198603,26 \text{ N}$$

### **Syarat kuat tekan beton ( $F_c'$ )**

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa  
(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30 \text{ Mpa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

### **Kuat Geser Beton**

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$\lambda = 1$  , untuk beton normal

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 300 \text{ mm} \times 339 \text{ mm} \\ &= 94695,75 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Kuat Geser Tulangan Geser**

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 300 \text{ mm} \times 339 \text{ mm} \\ &= 33561 \text{ N} \\ V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times 300 \text{ mm} \times 339 \text{ mm} \\ &= 183821,16 \text{ N} \\ 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \end{aligned}$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 339 \text{ mm}}$$

$$= 367642,335 \text{ N}$$

### **Pembagian Wilayah Geser Balok**

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom kearah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
2. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.

### ***Penulangan Geser Balok***

#### ***a.) Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)***

$$V_{u1} = 198603,26 \text{ N}$$

*Cek Kondisi:*

#### **Kondisi Geser 1**

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$198603,26 \text{ N} \leq 35510,91 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

#### **Kondisi Geser 2**

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$35510,91 \text{ N} \leq 198603,26 \text{ N} \leq 71021,81 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

#### **Kondisi Geser 3**

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$71021,81 \text{ N} \leq 198603,26 \text{ N} \leq 96192,56 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

#### **Kondisi Geser 4**

$$\emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$



$$96192,56 \text{ N} \leq 198603,26 \text{ N} \leq 208887,69 \text{ N}$$

(memenuhi)

### Kondisi Geser 5

$$\phi(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$208887,69 \text{ N} \leq 198603,26 \text{ N} \leq 346753,566 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_{s_{perlu}} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$= \frac{198603,26 \text{ N} - 0,75 \times 94695,75 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 170108,58 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset$  10mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 157,14 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{perlu}}}$$

$$= \frac{157,14 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times 10 \text{ mm}}{170108,58 \text{ N}}$$

$$= 75,16 \text{ mm, dipakai } 80 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 5

$$S_{max} \leq \frac{d}{4} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$80 \text{ mm} \leq \frac{339 \text{ mm}}{4}$$

$$80 \text{ mm} \leq 169 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$80 \text{ mm} \leq 300 \quad \text{(memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\varnothing 10 - 80 \text{ mm}$ .

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

*(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(2))*

**Cek persyaratan**

- $S_{pakai} < d/4$   
 $80 \text{ mm} < 84,75 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- $S_{pakai} < 8 \times D \text{ lentur}$   
 $80 \text{ mm} < 176 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- $S_{pakai} < 24 \times D \text{ sengkang}$   
 $80 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$   
 $80 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

***b.) Wilayah 2 Daerah (Lapangan)***

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segetiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{0,5L_n - 2h} &= \frac{V_{u1}}{0,5L_n} = \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (0,5L_n + 2h)}{0,5L_n} \\ &= \frac{198603,26 \text{ N} \times (3500\text{mm} - 4000\text{mm})}{3500 \text{ mm}} \\ &= 107813,2 \text{ N} \end{aligned}$$

*Cek Kondisi:*

**Kondisi Geser 1**

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$  Tidak perlu tulangan geser  
 $107813,2 \text{ N} \leq 35510,91 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 2**

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $35510,91 \text{ N} \leq 107813,2 \text{ N} \leq 71021,81 \text{ N}$   
 (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 3**

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $71021,81 \text{ N} \leq 107813,2 \text{ N} \leq 96192,56 \text{ N}$   
 (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 4**

$\emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser  
 $96192,56 \text{ N} \leq 107813,2 \text{ N} \leq 208887,69 \text{ N}$   
 (memenuhi)

**Kondisi Geser 5**

$\emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser  
 $208887,69 \text{ N} \leq 107813,2 \text{ N} \leq 346753,56 \text{ N}$   
 (Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_{s_{perlu}} &= \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset} \\ &= \frac{107813,2 \text{ N} - 35510,91}{0,75} \\ &= 10209451768 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10mm dengan jumlah kaki  $n=2$ , maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10\text{mm})^2 \\ &= 157,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{S_{perlu}}} \\ &= \frac{15714 \text{ mm}^2 \times 240\text{N/mm}^2 \times 10\text{mm}}{10209451768 \text{ N}} \\ &= 75,16 \text{ mm, dipakai } 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- a. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok (lapangan)

*(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(3))*

**Cek persyaratan**

- a.  $S_{pakai} < d/2$   
 $100 \text{ mm} < 169,5 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

### 4.2.3 Perhitungan Stuktur Primer

#### 4.2.3.1 Perhitungan Tulangan Balok Induk

Perhitungan tulangan balok B1 (40×60) cm AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m. Berikut ini adalah data perencanaan balok berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar 4. 23 : Denah balok yang ditinjau pada lantai 1, tipe balok B1

#### C. Data Perencanaan Balok :

Tipe balok	: B1
AS balok yang di tinjau	: E[5-6]
Bentang balok	: 8000 mm
Dimensi Balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi Balok (h balok)	: 600 mm
Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )	: 30 $N/mm^2$
Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ )	: 400 $N/mm^2$
Kuat Leleh Tul. Geser ( $f_{yv}$ )	: 240 $N/mm^2$
Kuat Leleh Tul. Puntir ( $f_{yt}$ )	: 400 $N/mm^2$
Diameter Tulangan Lentur	: D 22
Diameter Tulangan Geser	: $\phi$ 10
Diameter Tulangan Puntir	: $\phi$ 19
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (t decking)	: 50 mm
---------------------------------	---------

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))

Faktor  $\beta_1$  : 0,85

(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7 (3))

Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka perhitungan tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{tul. sengkang}} - \\ &\quad \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. lentur}} \\ &= 600\text{mm} - 50\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 22\text{mm} \\ &= 529\text{ mm} \end{aligned}$$

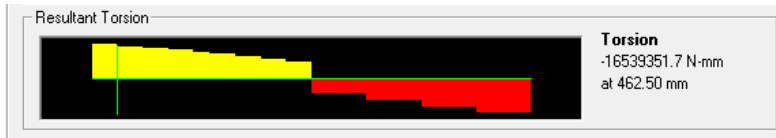
$$\begin{aligned} d' &= h - d \\ &= 600\text{ mm} - 529\text{ mm} = 71\text{ mm} \end{aligned}$$

#### D. Perhitungan Tulangan

Dalam perhitungan balok didapatkan gaya dalam dan diagram gaya dari analisa program SAP 2000 yang memodelkan stuktur bangunan yang ditinjau. Pada hasil output analisa SAP 2000 digunakan data yang menunjukkan analisa gaya terbesar dari semua frame balok pada stuktur bangunan, sehingga didapatkan pada frame 98 pemodelan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP 2000 :

### Hasil Output Torsi

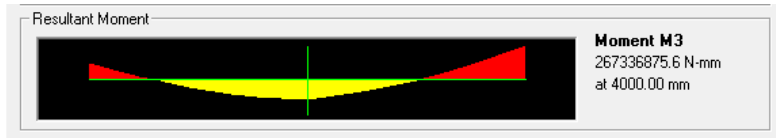
Kombinasi : (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L  
 Momen Puntir : 16539351,7 Nmm



Gambar 4. 24 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi : (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L  
 Momen lapangan : 267336875,6 Nmm

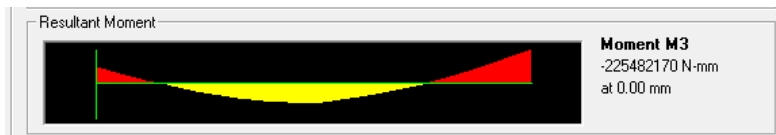


Gambar 4. 25 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok



Gambar 4. 26 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan

Kombinasi : (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L  
 Momen Tumpuan kanan : -456523247 Nmm



Gambar 4. 27 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kiri

Kombinasi : (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L  
 Momen Tumpuan kiri : -225482170 Nmm

### Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L didapatkan gaya geser terfaktor dengan  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom berdasarkan **(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2)**

Kombinasi : (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L  
 Gaya geser  $V_u$  : 252864,82 N



Gambar 4. 28 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom

- ❖ Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran balok yang dipakai 40cm x 60 cm
- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 400mm \times 600mm = 240000 \text{ mm}^2$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (400mm + 600mm) = 2000 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$A_{oh}$$

$$= (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser})$$

$$\times (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser})$$

$$= (400mm - 2 \times 50mm - 2 \times 10mm)$$

$$\times (600mm - 2 \times 50mm - 2 \times 10mm)$$

$$= 134400 \text{ mm}^2$$



Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser}) \\
 &\quad + (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})] \\
 &= 2 \times [(400 - 2 \times 50\text{mm} - 2 \times 10\text{mm}) \\
 &\quad + (600\text{mm} - 2 \times 50\text{mm} - 2 \times 10\text{mm})] \\
 &= 1520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan Tulangan Puntir**

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L

$$T_u = 16539351,7 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &\geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5}) \\
 T_n &= \frac{16539351,7 \text{ Nmm}}{0,75} = 22052468,93 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Akibat kombinasi: (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari beberapa kondisi yakni:

$$\begin{aligned}
 T_{u_{min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &(\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a)})
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{min}} &= 0,75 \times 0,083 \\
 &\quad \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(240000 \text{ mm}^2)^2}{2000 \text{ mm}} \right) \\
 &= 9819570,01 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  diambil sebesar

$$T_{u_{max}} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))**

Maka :

$$T_{u_{max}} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u_{max}} = 0,75 \times 0,33$$

$$\times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(240000 \text{ mm}^2)^2}{2000 \text{ mm}} \right)$$

$$= 39041663,9 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{min}}$  maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u_{min}}$  maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi

$$T_u = 16539352 \text{ Nmm} > T_{u_{min}} = 9819570 \text{ Nmm}$$

**(Memerlukan tulangan puntir)**

❖ Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan punter sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7)** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times \text{Ph} \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \text{Cot}^2 \phi$$

Dengan  $A_t/s$  dihitung sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)** berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt} \times \text{Cot} \phi}$$

Maka :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \text{Cot} \phi}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{22052468,93 \text{ Nmm}}{2 \times 134400 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Nmm} \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0.241 \text{ mm}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \emptyset$$

$$A_l = 0.241 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \cot^2 45$$

$$A_l = 366,77 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

$$0.241 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 400 \text{ mm}}{400 \text{ Nmm}}$$

$$0.241 \text{ mm} \geq 0.175 \text{ mm}$$

Maka nilai  $A_t/s$  diambil = 0.175 mm

Chek nilai  $A_l$  min dengan persamaan :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times Ph \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai  $A_{lmin}$  :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 240000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 0,175 \text{ mm} \right) \times 1520 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{lmin} = 1114,26 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan  $A_l$  dengan 2 kondisi yakni

$$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}} \text{ Maka menggunakan } A_{l\text{min}}$$

$$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}} \text{ Maka menggunakan } A_{l\text{perlu}}$$

Maka ;

$$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\text{min}}$$

$$366,77 \text{ mm}^2 \leq 1114,26 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai Al min sebesar 1114,26 mm<sup>2</sup>  
Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{Al}{4} = \frac{1114,26 \text{ mm}}{4} = 278.57 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Untuk sisi samping balok mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar 0,5 x Al, sehingga Al pada sisi samping balok adalah 557,13 mm<sup>2</sup> direncanakan tulangan diameter 19 mm maka jumlah tulangan puntirnya adalah :

$$n = \frac{Al}{\text{Luas tulangan}}$$

$$n = \frac{557,13 \text{ mm}^2}{283,64 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,96 \approx 2 \text{ Buah}$$

Kontrol Al pasang > Al perlu

$$Al \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{Luasan D puntir}$$

$$= 2 \times (0,25 \times 22/7 \times (19 \text{ mm})^2)$$

$$= 567,29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka } = Al \text{ pasang} > Al \text{ perlu}$$

$$= 567,29 \text{ mm}^2 > 557,13 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, kanan dan lapangan dipasang sebesar **2 D 19**.

## B.2 Perhitungan Tulangan Lentur

### Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 505,5 \text{ mm} = 303,3 \text{ mm}$$

### Garis Netral Maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 303,3 \text{ mm}$$

$$= 227,47 \text{ mm}$$

### Garis Netral Minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 94,5 \text{ mm}$$

### Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

### Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 400 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}$$

$$= 13005000 \text{ N}$$

### Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$Asc = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 400 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$= 3251,25 \text{ mm}^2$$

### Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$Mnc = Asc \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$= 3251,25 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\times \left( 529 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 150 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 574495875 \text{ Nmm}$$

### Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $(1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L$

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 456523247 \text{ Nmm}$$

### Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 456523247 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{456523247 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 507248052,2 \text{ Nmm}$$

### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_n > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_n = M_n - M_{nc}$$

$$M_n = 507248052,2 \text{ Nmm} - 574495875 \text{ Nmm}$$

$$M_n = -67247822,78 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_n \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{507248052,2 \text{ Nmm}}{400\text{mm} \times (505\text{mm})^2} = 4,963 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30\text{N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\textbf{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 4,963}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,0139\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ 0,0033 < 0,0139 < 0,022 \text{ (memenuhi)} \\ A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,0139 \times 400 \text{ mm} \times 505 \text{ mm} \\ &= 2816,30 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (25 \text{ mm})^2 \\ &= 491,071 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 2816,30 \text{ mm}^2 + 278,57 \text{ mm}^2 \\ &= 3094,87 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{3094,87 \text{ mm}^2}{491,071 \text{ mm}^2} \\
 &= 6,302 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 7 \times 491,071 \text{ mm}^2 \\
 &= 3437,50 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= 3437,50 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = \\
 &3094,87 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1**, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $As'$  adalah :

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,3 \times As \\
 As' &= 0,3 \times 3437,5 \text{ mm}^2 \\
 As' &= 1031,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 25 mm :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}} \\
 &= \frac{1031,25 \text{ mm}^2}{491,21 \text{ mm}^2} \\
 n &= 2,1 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &= 1473,21 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = \\
 &1031,25 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$



### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 7D25 dan tulangan tekan 1 lapis 3D25.

### ***Kontrol Tulangan Tarik***

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (4 \times 25\text{mm})}{4 - 1} \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 60 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### ***Kontrol Tulangan Tekan***

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (3 \times 25 \text{ mm})}{3 - 1} \\ &= 103 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 103 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kanan bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 7D25

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 3D25

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 7D25 \\ &= 7 \times 0,25 \times 3,14 \times (25\text{mm})^2 \\ &= 3437,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 3D25 \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (25\text{mm})^2 \\ &= 1473,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$1473,21 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 3437,5 \text{ mm}^2$$

$$1473,21 \text{ mm}^2 \geq 1145,83 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 7D25

Tulangan tekan : 3D25

**Kontrol kemampuan penampang**

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik 7D25} = 3437,50 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{3437,50 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}} \\ &= 134,80 \text{ mm} \\ Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 134,80 \text{ mm} \\ &= 1374960 \text{ N} \\ Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\ &= 3437,50 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1375000 \text{ N} \\ Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left( 1375000 \text{ N} \times \left( 457 \text{ mm} - \frac{134,80 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &\quad + (1375000 \text{ N} \\ &\quad \times (457 \text{ mm} - 143 \text{ mm})) \\ &= 967450000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &\geq Mu \text{ perlu} \\ 967450000 \text{ Nmm} &> 507248052,22 \text{ Nmm} \\ (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tekan 3D25} = 1473,21 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1473,21 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}} \\ &= 57,77 \text{ mm} \\ Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 57,77 \text{ mm} \\ &= 589254 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_{s_{\text{pakai}}} \times f_y \\
 &= 1473,21 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 589284 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left( C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (C_s' \times (d - d')) \\
 &= \left( 589254 \text{ N} \times \left( 457 \text{ mm} - \frac{57,77 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (589284 \text{ N} \\
 &\quad \times (457 \text{ mm} - 143 \text{ mm})) \\
 &= 437324276.1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$0,9 \times 437324276.1 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

$$393591848.5 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (40/60) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kiri bentang 8 m adalah sebagai berikut:

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 7D25

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 3D25

### **Daerah Tumpuan Kiri**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $(1,2+0,2S_{ds})D+1,3E_x+0,39E_y+1L$

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 225482170 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_u = 225482170 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{225482170 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 250535744,44 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_n > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 250535744,44 \text{ Nmm} - 605057625 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -354521880,56 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{250535744,44 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (505 \text{ mm})^2} = 2,451 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,451}{400 \frac{N}{mm^2}}} \right)$$

$$= 0,0065$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 < 0,0065 < 0,0244 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0065 \times 400 \text{ mm} \times 529 \text{ mm}$$

$$= 1365,79 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (25 \text{ mm})^2$$

$$= 491,071 \text{ mm}^2$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$= 1365,79 \text{ mm}^2 + 278,57 \text{ mm}^2$$

$$= 1644,36 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}}$$

$$= \frac{1644,36 \text{ mm}^2}{491,071 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,35 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = n \times \text{Luasan tulangan lentur}$$

$$= 4 \times 491,071 \text{ mm}^2$$

$$= 1964,29 \text{ mm}^2$$

### ***Kontrol***

$$A_s \text{ pasang} = 1964,29 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 1644,36 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$A_s' = 0,3 \times 1964,29 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 589,29 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 16 mm :

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{589,29 \text{ mm}^2}{201,14 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,9 \approx 4 \text{ buah}$$

Kontrol

$$A_s' \text{ pasang} = 804,57 \text{ mm}^2 > A_s' \text{ perlu} = 589,29 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D25 dan tulangan tekan 1 lapis 4D16.

### ***Kontrol Tulangan Tarik***

$$= \frac{S_{maks} \cdot b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (4 \times 25\text{mm})}{4 - 1}$$

$$= 60 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} = 60 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (4 \times 16 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$= 108 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\text{maks}} = 108 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4 \text{ m}$  untuk daerah tumpuan kiri bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D25

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 4D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:



$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 4D25 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (25\text{mm})^2 \\ &= 1964,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 4D16 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (16\text{mm})^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$804,57 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1964,29 \text{ mm}^2$$

$$804,57 \text{ mm}^2 \geq 654,76 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D25

Tulangan tekan : 4D16

### Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{\text{pakai}}} \text{ tulangan tarik } 4D25 = 1964,29 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1964,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400\text{mm}} \\ &= 77,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 77,03 \text{ mm} \\ &= 785706 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= A_{s_{\text{pakai}}} \times f_y \\ &= 1964,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 785716 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left( 785706 \text{ N} \times \left( 457\text{mm} - \frac{77,03 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &\quad + (785716 \text{ N} \\ &\quad \times (457 \text{ mm} - 143 \text{ mm})) \end{aligned}$$

$$= 745234935,4 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$

$$745234935,4 \text{ Nmm} > 507248052,22 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (40/60) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kiri bentang 8m Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 4D25

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 4D16. Akan tetapi untuk pelaksanaan penulangan disamakan dengan tumpuan kanan balok untuk memudahkan pelaksanaan penulangan.

### **Daerah Lapangan**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi: (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L

$$M_{u \text{ lapangan}} = 267336875,60 \text{ Nmm}$$

### Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\ &= \frac{267336875,60 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 297040972,89 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

### Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 297040972,89 \text{ Nmm} - 574495875 \text{ Nmm} \\ &= -2774549021 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} = -2774549021 \text{ Nmm} \leq 0$  (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

**Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{297040972,89 \text{ Nmm}}{400\text{mm} \times (529\text{mm})^2} = 2,65$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,65}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right)$$

$$= 0,0070$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0070 < 0,0244 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0070 \times 400\text{mm} \times 529\text{mm}$$

$$= 1485,59\text{mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2 \\
 &= 380,286 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 1485,59 \text{ mm}^2 + 278,57 \text{ mm}^2 \\
 &= 1764,15 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{1764,15 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2} = 4,64 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \\
 A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 5 \times 380,286 \text{ mm}^2 \\
 &= 1901,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

***Kontrol***

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 1901,43 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = \\
 &1764,15 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 A_s' &= 0,3 \times 1901,43 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 570,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 22 mm :

$$n = \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{570,43 \text{ mm}^2}{380,286 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,50 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 760,57 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 570,43 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 5D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (5 \times 22 \text{ mm})}{5 - 1}$$

$$= 42,5 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 42,5 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 22 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$= 236 \text{ mm}$$

*Syarat:*

$$S_{maks} = 236 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m daerah lapangan bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 5D22

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= 5D22 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (22\text{mm})^2 \\ &= 1901,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= 2D22 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) &\geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-) \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1901,43 \text{ mm}^2 \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 633,81 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 5D22

Tulangan tekan : 2D22

### Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik } 5D22 = 1901,43 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1901,43 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}} \\ &= 74,57 \text{ mm} \\ Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 74,57 \text{ mm} \\ &= 760614 \text{ N} \\ Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\ &= 1901,43 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 760572 \text{ N} \\ Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left( 760614 \text{ N} \times \left( 529 \text{ mm} - \frac{74,57 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &\quad + (760572 \text{ N} \times (529 \text{ mm} - 71 \text{ mm})) \\ &= 722347289 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta Mn \geq Mu$$

$$0,9 \times 722347289 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

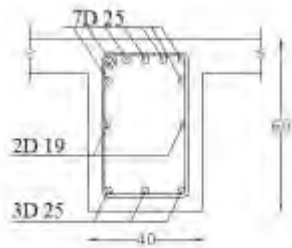
$$650112560,1 \text{ Nmm} > 297040972,89 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

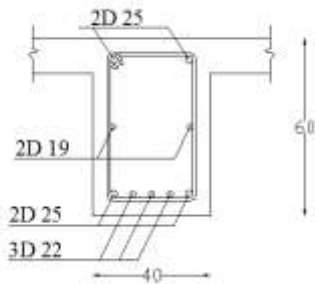
Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (40/60) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m daerah lapangan bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 3D22 dan 2D25

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D22



Gambar 4. 29 : Kebutuhan tulangan tumpuan balok induk



Gambar 4. 30 : Kebutuhan tulangan lapangan balok induk



### Perhitungan Tulangan Geser

Data Perencanaan balok sebagai berikut:

$f_c'$	= 30 N/mm <sup>2</sup>
$f_y$	= 240 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$	= 0,85
$\phi_{\text{reduksi}}$	= 0,75
Lebar	= 400 mm
Tinggi	= 600 mm
$\phi_{\text{sengkang}}$	= 10 mm

- ❖ Dalam analisa perhitungan tulangan lentur didapatkan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan sebagai berikut :

➤ Tumpuan kanan

- As pakai tulangan tarik 7D25 = 3437,5 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 3D25 = 1473,21 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As_{\text{tul tekan}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{1473,21 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}}$$

$$a = 57,77 \text{ mm}$$

$$M_{nR} = As_{\text{tul tarik}} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nR} = 3437,50 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(529 \text{ mm} - \frac{57,77 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nR} = 687655987,39 \text{ Nmm}$$



➤ Tumpuan kiri

- As pakai tulangan tarik 4D25 = 1964,29 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 3D25 = 804,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As_{\text{tul tarik}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

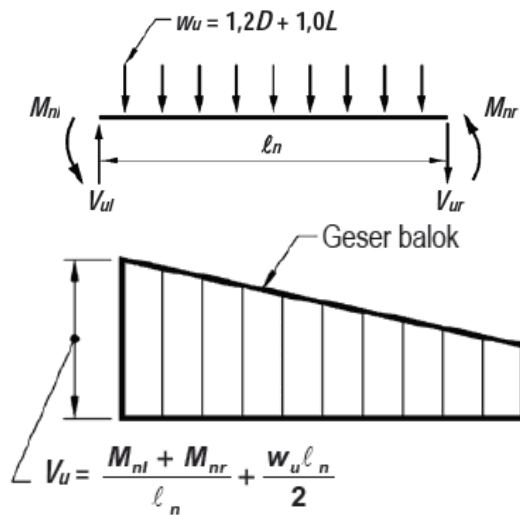
$$a = \frac{1964,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}}$$

$$a = 77,03 \text{ mm}$$

$$M_{nL} = A_s \text{ tul lentur} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nL} = 1964,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times \left(529 \text{ mm} - \frac{77,03 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nL} = 385380752,30 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 31 : Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L dari analisa SAP 2000 didapatkan gaya geser terfaktor sebesar  $V_u = 252864,82 \text{ N}$

**Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari**

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))**

Dimana:

$V_{u1}$  : gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$l_n$  : panjang balok bersih

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\ &= \frac{385380752,30 \text{ Nmm} + 687655987,39 \text{ Nmm}}{7500 \text{ mm}} + 252864,82 \\ &\text{N} \\ &= 395936,39 \text{ N} \end{aligned}$$

**Syarat kuat tekan beton ( $F_c'$ )**

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa

**(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)**

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30 \text{ Mpa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

**Kuat Geser Beton**

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)**

Dengan:

$\lambda = 1$  , untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 400\text{mm} \times 529\text{mm} \\
 &= 197026,758 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### ***Kuat Geser Tulangan Geser***

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times 400\text{mm} \times 529\text{mm} \\
 &= 69828 \text{ N} \\
 V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 400\text{mm} \times 529\text{mm} \\
 &= 382463,707 \text{ N} \\
 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 400\text{mm} \times 529\text{mm} \\
 &= 764927,415 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### **Pembagian Wilayah Geser Balok**

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

3. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom kearah tengah bentang (***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2***)
4. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.

### ***Penulangan Geser Balok***

#### ***c.) Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)***

$$V_{u1} = 395936,39 \text{ N}$$

*Cek Kondisi:*

#### **Kondisi Geser 1**

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser} \\
 395936,39 \text{ N} &\leq 73885,03\text{N} \quad (\text{Tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

#### **Kondisi Geser 2**

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$73885,03 N \leq 395936,39 N \leq 147770,07 N \text{ (Tidak memenuhi)}$$

**Kondisi Geser 3**

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$147770,07 N \leq 395936,39 N \leq 200141,07 N \text{ (Tidak memenuhi)}$$

**Kondisi Geser 4**

$$\emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$200141,07 N \leq 395936,39 N \leq 434617,85 N \text{ (memenuhi)}$$

**Kondisi Geser 5**

$$\emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$434617,85 N \leq 395936,39 N \leq 721465,632 N \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_{s_{perlu}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$= \frac{395936,39 N - 0,75 \times 197026,758 N}{0,75}$$

$$= 330888,42 N$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset$  10mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 157,14 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{perlu}}}$$

$$= \frac{157,14 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times 10 \text{ mm}}{330888,42 \text{ N}}$$

$$= 60,29 \text{ mm, dipakai } 100 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 5

$$S_{max} \leq \frac{d}{4} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{529 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq 265 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$100 \text{ mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ .

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- e.  $d/4$
- f. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- g. 24 kali diameter sengkang
- h. 300 mm

*(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(2))*

**Cek persyaratan**

- e.  $S_{pakai} < d/4$   
 $100 \text{ mm} < 132 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- f.  $S_{pakai} < 8 \times D$  lentur  
 $100 \text{ mm} < 178 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- g.  $S_{pakai} < 24 \times D$  sengkang  
 $100 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- h.  $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$   
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

**d.) Wilayah 2 Daerah (Lapangan)**

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segetiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{u2}}{0,5Ln - 2h} &= \frac{V_{u1}}{0,5Ln} = \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (0,5Ln + 2h)}{0,5Ln} \\ &= \frac{395936,39 \text{ N} \times (7500\text{mm} - 5000\text{mm})}{7500 \text{ mm}} \\ &= 269236,74 \text{ N}\end{aligned}$$

*Cek Kondisi:*

**Kondisi Geser 1**

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$  Tidak perlu tulangan geser  
 $269236,74 \text{ N} \leq 73885,03 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 2**

$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $73885,03 \text{ N} \leq 269236,74 \text{ N} \leq 147770,07 \text{ N}$   
 (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 3**

$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $147770,07 \text{ N} \leq 269236,74 \text{ N} \leq 200141,069 \text{ N}$   
 (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 4**

$\phi(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser  
 $200141,069 \text{ N} \leq 269236,74 \text{ N} \leq 434617,85 \text{ N}$   
 (memenuhi)

**Kondisi Geser 5**

$\phi(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser

$$434617,85 \text{ N} \leq 395936,39 \text{ N} \leq 721465,63 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_{S_{perlu}} = \frac{Vu - \phi V_c}{\phi}$$

$$= \frac{269236,74 \text{ N} - 0,75 \times 197026,758}{0,75}$$

$$= 161955,56 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10mm dengan jumlah kaki n= 2, maka luasan tulangan geser:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10\text{mm})^2$$

$$= 78,54\text{mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{S_{perlu}}}$$

$$= \frac{78,54\text{mm}^2 \times 240\text{N/mm}^2 \times 10\text{mm}}{161955,56 \text{ N}}$$

$$= 123,19\text{mm}, \text{ dipakai } 150 \text{ mm}$$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- b. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok (lapangan)

(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(3))



Cek persyaratan

b.  $S_{pakai} < d/2$

$50 \text{ mm} < 265 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

**Perhitungan Panjang Penyaluran dan Kontrol Retak**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan yang disebut sebagai panjang penyaluran tulangan.

**Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di hitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 300 mm

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'c}} \times d_b$$

(SNI 2847:2013, pasal 12.2.1)

Dimana :

$l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = Diameter tulangan

$\Psi_t$  = factor lokasi penulangan = 1

$\Psi_e$  = Faktor pelapis = 1

$\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'c}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{400 \text{ Nmm} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30}} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 1074 \text{ mm}^2$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \times \lambda_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{3094,87 \text{ mm}^2}{3437,50 \text{ mm}^2} \times 1074 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = 966,9 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah  
1000 mm = 1 m

### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 200 mm, dan diambil dari nilai yang terbesar dari persamaan berikut :

$$l_d = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \text{ dan } l_d = 0,034 f_y \times d_b$$

*(SNI 2847:2013, pasal 12.3.1)*

Dimana :

$l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = Diameter tulangan

$\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

Kontrol antar persamaan

$$l_d = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Nmm}}} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 438,2 \text{ mm} \quad \dots \dots \text{Persamaan 1}$$

$$l_d = 0,034 \times f_y \times d_b$$

$$l_d = 0,034 \times 400 \text{ Mpa} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 340 \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan 2}$$

Maka yang diambil adalah persamaan 1 dengan nilai  $l_d$  438,2 mm

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{3094,87 \text{ mm}^2}{3437,50 \text{ mm}^2} \times 438,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = 394,5 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah  
400 mm = 0,4 m

## Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 8db dan 150 mm.

$$l_d = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

*(SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)*

Dimana :

- $l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik
- $d_b$  = Diameter tulangan
- $\Psi_e$  = Faktor pelapis = 1
- $\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

Kontrol antar persamaan

$$l_d = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Nmm}}} \times 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 438,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{3094,87 \text{ mm}^2}{3437,50 \text{ mm}^2} \times 438,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = 394,5 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah 400 mm = 0,4 m  $\geq$  150 mm dan  $\geq$  8db (200 mm).

#### 4.2.3.2 Perhitungan Tulangan Balok Anak

Perhitungan tulangan balok BA (30×40) cm AS EF-56 pada elevasi ± 4 m. Berikut ini adalah data perencanaan balok berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar 4. 32 : Denah balok anak yang ditinjau

##### A. Data Perencanaan Balok Anak :

Tipe balok	: B1
AS balok yang di tinjau	: E-F-5-6
Bentang balok	: 4000 mm
Dimensi Balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi Balok (h balok)	: 400 mm
Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )	: $30 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ )	: $400 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Geser ( $f_{yv}$ )	: $240 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Puntir ( $f_{yt}$ )	: $400 \text{ N/mm}^2$
Diameter Tulangan Lentur	: D 16
Diameter Tulangan Geser	: $\phi 10$
Diameter Tulangan Puntir	: $\phi 16$
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (t decking)	: 20 mm
---------------------------------	---------

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))

Faktor  $\beta_1$  : 0,85  
*(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7 (3))*  
 Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9  
*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))*  
 Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75  
*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*  
 Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75  
*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*

Maka perhitungan tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 400\text{mm} - 20\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 16\text{mm} \\
 &= 362\text{ mm} \\
 d' &= h - d \\
 &= 400\text{ mm} - 362\text{ mm} = 38\text{ mm}
 \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Tulangan

Dalam perhitungan balok didapatkan gaya dalam dan diagram gaya dari analisa program SAP 2000 yang memodelkan stuktur bangunan yang ditinjau. Pada hasil output analisa SAP 2000 digunakan data yang menunjukkan analisa gaya terbesar dari semua frame balok anak pada stuktur bangunan, sehingga didapatkan pada frame 191 pemodelan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5R dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP 2000 :

### Hasil Output Torsi

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5R  
 Momen Puntir : 247664.3 Nmm



Gambar 4. 33 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi balok anak

### Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5R

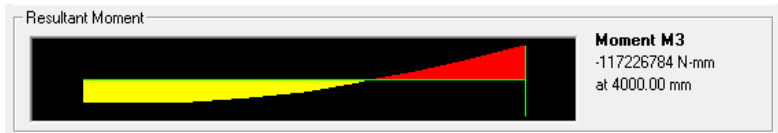
Momen lapangan : 74436291.22Nmm



Gambar 4. 34 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok anak

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5R

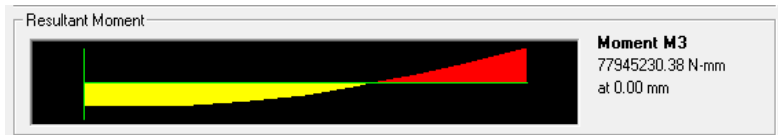
Momen Tumpuan kanan : 117226784Nmm



Gambar 4. 35 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan balok anak

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5R

Momen Tumpuan kiri : 77945230.38 Nmm



Gambar 4. 36 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan balok anak

### Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L didapatkan gaya geser terfaktor dengan  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom berdasarkan **(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2)**

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5R

Gaya geser  $V_u$  : 86876.28 N



Gambar 4. 37 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom anak

- ❖ Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran balok yang dipakai 30cm x 40 cm Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 300mm \times 400mm = 120000 \text{ mm}^2$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (300mm + 400mm) = 14000 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$A_{oh}$$

$$= (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser})$$

$$\times (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser})$$

$$= (300mm - 2 \times 20mm - 2 \times 10mm)$$

$$\times (400mm - 2 \times 20mm - 2 \times 10mm)$$

$$= 81600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_{oh} &= 2 \\
 &\times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser}) \\
 &+ (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})] \\
 &= 2 \times [(300 - 2 \times 20\text{mm} - 2 \times 10\text{mm}) \\
 &\quad + (400\text{mm} - 2 \times 20\text{mm} - 2 \times 10\text{mm})] \\
 &= 1160 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Tulangan Puntir

#### Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: 1,2D+1,6L+0,5R

$$T_u = 247664.3 \text{ Nmm}$$

#### Momen Puntir Nominal

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = \frac{247664.3 \text{ Nmm}}{0,75} = 330219.067 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi: 1,2D+1,6L+0,5R, pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari beberapa kondisi yakni:

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a)})$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{min}} &= 0,75 \times 0,083 \\
 &\quad \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}} \right) \\
 &= 3506989,29 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  diambil sebesar



$$T_{u_{max}} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))**

Maka :

$$T_{u_{max}} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u_{max}} = 0,75 \times 0,33$$

$$\times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(120000 \text{ mm}^2)^2}{1400 \text{ mm}} \right)$$

$$= 13943451,39 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{min}}$  maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u_{min}}$  maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi

$$T_u = 3506989,29 \text{ Nmm} > T_{u_{min}} = 247664,3 \text{ Nmm}$$

**(Tidak memerlukan tulangan puntir)**

**Perhitungan Tulangan Lentur**

Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 362 \text{ mm} = 217,2 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 217,2 \text{ mm}$$

$$= 162,9 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 58,5 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 30 \frac{N}{mm^2} \times 300mm \times 0,85 \times 100mm$$

$$= 650250 N$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$Asc = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \frac{N}{mm^2} \times 300mm \times 0,85 \times 100mm}{400 \frac{N}{mm^2}}$$

$$= 1625,63 mm^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$Mnc = Asc \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$= 1625,63 mm^2 \times 400 \frac{N}{mm^2} \times \left( 362 mm - \frac{0,85 \times 100mm}{2} \right)$$

$$= 207754875,00 Nmm$$

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
1,2D+1,6L+0,5R

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 117226784,00 Nmm$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 117226784,00 Nmm$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{117226784,00 Nmm}{0,9}$$

$$Mn = 130251982,2 Nmm$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= 130251982,2 \text{ Nmm} - 207754875,00 \text{ Nmm} \\ M_{ns} &= -77502892,78 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{130251982,2 \text{ Nmm}}{300\text{mm} \times (364\text{mm})^2} = 3,313 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30\text{N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \\ \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,313}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,0089 \\ \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\ 0,0035 &< 0,0089 < 0,0244 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0089 \times 300 \text{ mm} \times 362 \text{ mm} \\
 &= 967,07 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 201,143 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top), karena tidak ada tulangan puntir maka  $A_l/4 = 0$ .

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 967,07 \text{ mm}^2 + 0 \\
 &= 967,07 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{967,07 \text{ mm}^2}{201,143 \text{ mm}^2} \\
 &= 4,808 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \\
 A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 5 \times 201,143 \text{ mm}^2 \\
 &= 1005,71 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### ***Kontrol***

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 1005,71 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = \\
 &967,07 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan sisi bawah balok (bottom). tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 A_s' &= 0,3 \times 1005,71 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 301,71 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 16 mm :

$$n = \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{301,71 \text{ mm}^2}{201,143 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,5 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 402,29 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 301,71 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 5D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øgeser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 20 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (5 \times 16 \text{ mm})}{5 - 1}$$

$$= 58,67 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 58,67 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Øgeser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 20 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 16 \text{ mm})}{2 - 1}$$

$$= 208 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 208 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) AS EF-56 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kanan bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 5D16

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 5D16 \\ &= 5 \times 0,25 \times 3,14 \times (16\text{mm})^2 \\ &= 1005,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D16 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (16\text{mm})^2 \\ &= 402,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$402,29 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1005,71 \text{ mm}^2$$

$$402,29 \text{ mm}^2 \geq 335,24 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 5D16

Tulangan tekan : 2D16

### Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pakai}}$  tulangan tarik 5D16 = 1005,71 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1005,71 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\
 &= 52,59 \text{ mm} \\
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\
 &= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 52,59 \text{ mm} \\
 &= 402313,5 \text{ N} \\
 Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\
 &= 1005,71 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 402284 \text{ N} \\
 Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left( 402313,5 \text{ N} \times \left( 362 \text{ mm} - \frac{52,59 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (402284 \text{ N} \times (362 \text{ mm} - 38 \text{ mm})) \\
 &= 265398669,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &\geq Mu \text{ perlu} \\
 265398669,5 \text{ Nmm} &> 130251982,2 \text{ Nmm} \\
 (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

$A_{s_{pakai}}$  tulangan tekan 2D16 = 402,29 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{402,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\
&= 21,035 \text{ mm} \\
Cc' &= 0,85 \times b \times fc' \times a \\
&= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 21,035 \text{ mm} \\
&= 160917,75 \text{ N} \\
Cs' &= As_{\text{pakai}} \times fy \\
&= 402,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
&= 160916 \text{ N} \\
Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
&= \left( 160917,75 \text{ N} \times \left( 362 \text{ mm} - \frac{21,035 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
&\quad + (160916 \text{ N} \times (362 \text{ mm} - 38 \text{ mm})) \\
&= 108696557,1 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
\theta Mn_{\text{pasang}} &> Mu \\
0,9 \times 108696557,1 \text{ Nmm} &> 130251982,2 \text{ Nmm} \\
97826901,36 \text{ Nmm} &> 130251982,2 \text{ Nmm} \\
&\text{(memenuhi)}
\end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok BA (30/40) AS EF-56 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kiri bentang 8 m adalah sebagai berikut:

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 5D16

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D16

### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
1,2D+1,6L+0,5R

$$M_u \text{ tumpuan} = 77945230,38 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 77945230,38 \text{ Nmm}$$



$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$M_n = \frac{77945230,38 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 86605811,53 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 86605811,53 \text{ Nmm} - 207754875 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -121149063,47 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{86605811,53 \text{ Nmm}}{300\text{mm} \times (362\text{mm})^2} = 2,203 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

*(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)*

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

*(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)*

$$= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,203}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\
 &= 0,0058
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,0033 < 0,0058 < 0,0244 & \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0058 \times 300 \text{ mm} \times 362 \text{ mm} \\
 &= 626,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 201,143 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

***Jumlah tulangan pasang***

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= 626,45 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{626,45 \text{ mm}^2}{201,143 \text{ mm}^2} \\
 &= 3,114 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 4 \times 201,143 \text{ mm}^2 \\
 &= 804,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

***Kontrol***

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= 804,57 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = \\
 &626,45 \text{ mm}^2 \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan sisi bawah balok (bottom). sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***,

luas tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$A_s' = 0,3 \times 804,57 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 241,37 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 16 mm :

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{241,37 \text{ mm}^2}{201,14 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,2 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$A_s' \text{ pasang} = 402,29 \text{ mm}^2 > A_s' \text{ perlu} = 241,37 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16.

### ***Kontrol Tulangan Tarik***

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 20 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 16 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$= 58,67 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 58,67 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### ***Kontrol Tulangan Tekan***

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300\text{mm} - (2 \times 20\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 16\text{mm})}{2 - 1} = 208\text{ mm}$$

**Syarat:**

$S_{maks} = 208\text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25\text{ mm} \rightarrow$  susun 1 lapis  
Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4\text{ m}$  untuk daerah tumpuan kiri bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D16

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D16

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 4\text{D16} \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (16\text{mm})^2 \\ &= 804,57\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2\text{D16} \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (16\text{mm})^2 \\ &= 402,29\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-)$$

$$402,29\text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 804,57\text{ mm}^2$$

$$402,29\text{ mm}^2 \geq 268,19\text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D16

Tulangan tekan : 2D16

### Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pakai}}$  tulangan tarik 4D16 = 804,57 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{201,14 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\
 &= 42,07 \text{ mm} \\
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\
 &= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 42,07 \text{ mm} \\
 &= 321835,5 \text{ N} \\
 Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\
 &= 804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 321828 \text{ N} \\
 Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left( 321835,5 \text{ N} \times \left( 362 \text{ mm} - \frac{42,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (321828 \text{ N} \times (362 \text{ mm} - 38 \text{ mm})) \\
 &= 2555525921 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$Mn \text{ pasang} \geq Mu \text{ perlu}$

$2555525921 \text{ Nmm} > 86605811,53 \text{ Nmm}$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok BA (30/40) AS EF-56 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kiri bentang 4m, Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 4D16, Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D16. Akan tetapi untuk pelaksanaan penulangan disamakan dengan tumpuan kanan balok untuk memudahkan pelaksanaan penulangan.

### Daerah Lapangan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
1,2D+1,6L+0,5R

$$M_{u \text{ lapangan}} = 74436291,22 \text{ Nmm}$$

### Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\ &= \frac{74436291,22 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 82706990,24 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

### Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 82706990,24 \text{ Nmm} - 207754875 \text{ Nmm} \\ &= -125047884,76 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} = -125047884,76 \text{ Nmm} \leq 0$  (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{82706990,24 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm} \times (362 \text{ mm})^2} = 2,10 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,104}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\
 &= 0,0070
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\
 0,0035 &< 0,0055 < 0,0244 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\
 &= 0,0055 \times 300 \text{ mm} \times 362 \text{ mm} \\
 &= 596,91 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 201,143 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s \\
 &= 596,91 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{596,91 \text{ mm}^2}{201,143 \text{ mm}^2} \\
 &= 2,968 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \text{Luasan tulangan lentur}$$

$$= 4 \times 201,143 \text{ mm}^2$$

$$= 804,57 \text{ mm}^2$$

### **Kontrol**

$$As \text{ pasang} = 804,57 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 596,91 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan tulangan perlu tekan). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1**, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $As'$  adalah :

$$As' = 0,3 \times As$$

$$As' = 0,3 \times 804,57 \text{ mm}^2$$

$$As' = 241,34 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 16 mm :

$$n = \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{241,34 \text{ mm}^2}{201,143 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,20 \approx 2 \text{ buah}$$

### **Kontrol**

$$As' \text{ pasang} = 402,29 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 241,37 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$



$$= \frac{300\text{mm} - (2 \times 20\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (4 \times 16\text{mm})}{4 - 1}$$

$$= 58,667 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 58,67 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (\text{jumlahtul} \times D_{lentur})}{\text{jumlahtulangan} - 1}$$

$$= \frac{300\text{mm} - (2 \times 20\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 16\text{mm})}{2 - 1}$$

$$= 208 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 208 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4$  m daerah lapangan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D16

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}} (+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}} (-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$A_{spasang} = 4D16$$

$$= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (16 \text{ mm})^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 804,57 \text{ mm}^2 \\
 A s'_{\text{pasang}} &= 2D16 \\
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (16 \text{ mm})^2 \\
 &= 402,29 \text{ mm}^2 \\
 M_{\text{lentur tumpuan}} (+) &\geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}} (-) \\
 402,29 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 804,57 \text{ mm}^2 \\
 402,29 \text{ mm}^2 &\geq 268,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \\
 \text{Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:} \\
 \text{Tulangan tarik : } &4D16 \\
 \text{Tulangan tekan : } &2D16
 \end{aligned}$$

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned}
 A s_{\text{pakai tulangan tarik}} \quad 4D16 &= 804,57 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\
 &= 42,07 \text{ mm} \\
 C c' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\
 &= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 42,07 \text{ mm} \\
 &= 321835,5 \text{ N} \\
 C s' &= A s_{\text{pakai}} \times f_y \\
 &= 804,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 32188 \text{ N} \\
 M_n &= \left( C c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (C s' \times (d - d')) \\
 &= \left( 321835,5 \text{ N} \times \left( 362 \text{ mm} - \frac{42,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (32188 \text{ N} \times (362 \text{ mm} - 38 \text{ mm})) \\
 &= 2461100039 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\phi M_n \geq M_u$$

$0,9 \times 2461100039 \text{ Nmm} > 82706990,24 \text{ Nmm}$   
 $2214990035 \text{ Nmm} > 82706990,24 \text{ Nmm}$   
 (memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) AS EF-56 pada elevasi  $\pm 4 \text{ m}$  daerah lapangan bentang  $4 \text{ m}$  :  
 Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D16  
 Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D16

### Perhitungan Tulangan Geser

Data Perencanaan balok sebagai berikut:

$f_c'$	= $30 \text{ N/mm}^2$
$f_y$	= $240 \text{ N/mm}^2$
$\beta_1$	= $0,85$
$\phi_{\text{reduksi}}$	= $0,75$
Lebar	= $300 \text{ mm}$
Tinggi	= $400 \text{ mm}$
$\phi_{\text{sengkang}}$	= $10 \text{ mm}$

- ❖ Dalam analisa perhitungan tulangan lentur didapatkan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan sebagai berikut :

➤ Tumpuan kanan

- As pakai tulangan tarik 5D16 =  $1005,71 \text{ mm}^2$
- As pakai tulangan tekan 2D16 =  $402,299 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{As_{\text{tul tekan}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{402,299 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 12,62 \text{ mm}$$

$$Mn_R = As_{\text{tul tarik}} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn_R = 1005,71 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times \left(362 \text{ mm} - \frac{21,62 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mn_R = 85853315,53 \text{ Nmm}$$

➤ Tumpuan kiri

- As pakai tulangan tarik 4D16 = 804,577 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 2D16 = 402,299 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

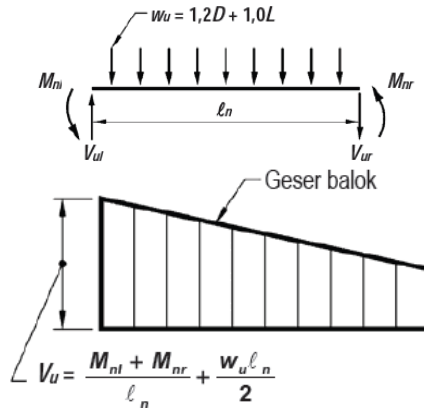
$$a = \frac{804,577 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}}$$

$$a = 25,24 \text{ mm}$$

$$Mn_L = As \text{ tul lentur} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn_L = 804,577 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times \left(362 \text{ mm} - \frac{25,24 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mn_L = 67464139,14 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 38: Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi (1,2+0,2Sds)D+1,3Ex+0,39Ey+1L dari analisa

SAP 2000 didapatkan gaya geser terfaktor sebesar  $V_u = 252864,82 \text{ N}$

**Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari**

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))**

Dimana:

$V_{u1}$  : gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$l_n$  : panjang balok bersih

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$= \frac{67464139,14 \text{ Nmm} + 85853315,53 \text{ Nmm}}{3500 \text{ mm}} + 86876,28 \text{ N}$$

$$= 130681,27 \text{ N}$$

**Syarat kuat tekan beton ( $F_c'$ )**

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa

**(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)**

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30 \text{ Mpa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

**Kuat Geser Beton**

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)**

Dengan:

$\lambda = 1$ , untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 300 \text{ mm} \times 362 \text{ mm}$$

$$= 101120,538 \text{ N}$$

***Kuat Geser Tulangan Geser***

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times 300\text{mm} \times 362\text{mm} \\
 &= 35838 \text{ N} \\
 V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 300\text{mm} \times 362\text{mm} \\
 &= 196292,810 \text{ N} \\
 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 300\text{mm} \times 362\text{mm} \\
 &= 392585,62 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**Pembagian Wilayah Geser Balok**

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

5. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
6. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.

***Penulangan Geser Balok******e.) Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)***

$$V_{u1} = 130681,27 \text{ N}$$

*Cek Kondisi:*

**Kondisi Geser 1**

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$130681,27 \text{ N} \leq 37920,2 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

**Kondisi Geser 2**

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$37920,2 \text{ N} \leq 130681,27 \text{ N} \leq 75840,40 \text{ N}$  (Tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 3**

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$75840,40 \text{ N} \leq 130681,27 \text{ N} \leq 102718,91 \text{ N}$   
(Tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 4**

$\emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser

$102718,91 \text{ N} \leq 130681,27 \text{ N} \leq 223060,01 \text{ N}$   
(memenuhi)

**Kondisi Geser 5**

$\emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser

$223060,01 \text{ N} \leq 130681,27 \text{ N} \leq 370279,62 \text{ N}$   
(Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_{s_{perlu}} &= \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset} \\ &= \frac{130681,27 \text{ N} - 0,75 \times 101120,54 \text{ N}}{0,75} \\ &= 73121,15 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset$  10mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{perlu}}} \\ &= \frac{157,14 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times 10 \text{ mm}}{73121,15 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$= 186,71 \text{ mm}, \quad \text{dipakai } 80 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$80 \text{ mm} \leq \frac{362 \text{ mm}}{42}$$

$$80 \text{ mm} \leq 181 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$80 \text{ mm} \leq 300 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ .

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- i.  $d/4$
- j. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- k. 24 kali diameter sengkang
- l. 300 mm

*(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(2))*

Cek persyaratan

- i.  $S_{pakai} < d/4$   
 $80 \text{ mm} < 90,5 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- j.  $S_{pakai} < 8 \times D$  lentur  
 $80 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- k.  $S_{pakai} < 24 \times D$  sengkang  
 $80 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- l.  $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$   
 $80 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

***f.) Wilayah 2 Daerah (Lapangan)***



Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segetiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{u2}}{0,5L_n - 2h} &= \frac{V_{u1}}{0,5L_n} = \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (0,5L_n - 2h)}{0,5L_n} \\ &= \frac{130681,27 \text{ N} \times ((0,5 \times (4000 - 500) \text{ mm}) - (2 \times 300 \text{ mm}))}{(0,5 \times (4000 - 500) \text{ mm})} \\ &= 70941,26 \text{ N}\end{aligned}$$

*Cek Kondisi:*

#### **Kondisi Geser 1**

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$  Tidak perlu tulangan geser  
 $70941,26 \text{ N} \leq 37920,2 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

#### **Kondisi Geser 2**

$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $37920,2 \text{ N} \leq 70941,26 \text{ N} \leq 75840,4 \text{ N}$   
 (memenuhi)

#### **Kondisi Geser 3**

$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $75840,4 \text{ N} \leq 70941,26 \text{ N} \leq 102718,9039 \text{ N}$   
 (tidak memenuhi)

#### **Kondisi Geser 4**

$\phi(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser  
 $102718,9039 \text{ N} \leq 70941,26 \text{ N} \leq 223060,01 \text{ N}$   
 (memenuhi)

#### **Kondisi Geser 5**

$\phi(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser  
 $223060,01 \text{ N} \leq 130681,27 \text{ N} \leq 370279,62 \text{ N}$   
 (Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2.

$$\begin{aligned} V_{s_{Min}} &= 1/3 \cdot b \cdot d \\ &= 1/3 \times 300 \text{ mm} \times 362 \text{ mm} \\ &= 35838 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10mm dengan jumlah kaki  $n=2$ , maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \\ &= 78,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{perlu}}} \\ &= \frac{78,54 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times 10 \text{ mm}}{35838 \text{ N}} \\ &= 380,95 \text{ mm}, \text{ dipakai } 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- c. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok (lapangan)

(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(3))

Cek persyaratan

- c.  $S_{pakai} < d/2$   
 $150 \text{ mm} < 181 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

### Perhitungan Panjang Penyaluran dan Kontrol Retak

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan yang disebut sebagai panjang penyaluran tulangan.

#### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di hitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 300 mm

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'c}} \times d_b$$

(SNI 2847:2013, pasal 12.2.1)

Dimana :

$l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = Diameter tulangan

$\Psi_t$  = factor lokasi penulangan = 1

$\Psi_e$  = Faktor pelapis = 1

$\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'c}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{400 \text{ Nmm} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30'}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_d = 687 \text{ mm}^2$$

$$\lambda_d \text{ reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times \lambda_d$$

$$\lambda_d \text{ reduksi} = \frac{967,07 \text{ mm}^2}{1005,71 \text{ mm}^2} \times 687 \text{ mm}$$

$$\lambda_d \text{ reduksi} = 661 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah 700 mm > 300 mm (memenuhi)

### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 200 mm, dan diambil dari nilai yang terbesar dari persamaan berikut :

$$l_d = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \text{ dan } l_d = 0,034 f_y \times d_b$$

(SNI 2847:2013, pasal 12.3.1)

Dimana :

$l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = Diameter tulangan

$\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

Kontrol antar persamaan

$$l_d = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{0,24 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Nmm}}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_d = 280,43 \text{ mm} \quad \dots \dots \text{Persamaan 1}$$

$$l_d = 0,034 \times f_y \times d_b$$

$$l_d = 0,034 \times 400 \text{ Mpa} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_d = 217,6 \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan 2}$$

Maka yang diambil adalah persamaan 1 dengan nilai  $l_d$  280,43 mm

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \times l_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{967,07 \text{ mm}^2}{1005,71 \text{ mm}^2} \times 280,43 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = 296,66 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah 300 mm > 200 mm (memenuhi)

### Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 8db dan 150 mm.

$$l_d = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

*(SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)*

Dimana :

$l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = Diameter tulangan

$\Psi_e$  = Faktor pelapis = 1

$\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

Kontrol antar persamaan

$$l_d = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Nmm}}} \times 16 \text{ mm}$$

$$l_d = 280,43 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{pasang}}} \times l_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{967,07 \text{ mm}^2}{1005,71 \text{ mm}^2} \times 280,43 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = 296,66 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah  $300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm}$  dan  $\geq 8db$  (128 mm) (memenuhi).

#### 4.2.3.3 Perhitungan Tulangan Balok Kantilever

Perhitungan tulangan balok kantilever (20×25) cm As G-4-5 pada elevasi ± 4 m. Berikut ini adalah data perencanaan balok kantilever berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.



Gambar 4. 39 : denah balok kantilever

##### A. Data Perencanaan Balok Anak :

Tipe balok	: BK (balok Kantilever)
AS balok yang di tinjau	: G {4-5}
Bentang balok	: 2000 mm
Dimensi Balok (b balok)	: 200 mm
Dimensi Balok (h balok)	: 250 mm
Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )	: $30 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ )	: $400 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Geser ( $f_{yv}$ )	: $240 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Puntir ( $f_{yt}$ )	: $400 \text{ N/mm}^2$
Diameter Tulangan Lentur	: D 19
Diameter Tulangan Geser	: $\phi 10$
Diameter Tulangan Puntir	: $\phi 10$
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
---------------------------------	---------

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))

Faktor $\beta_1$	: 0,85
------------------	--------

*(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7 (3))*

Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,9

*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))*

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75

*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*

Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75

*(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*

Maka perhitungan tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{tul. sengkang}} - \\ &\quad \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. lentur}} \\ &= 250\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} 19\text{mm} \\ &= 190,1\text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= h - d \\ &= 250\text{ mm} - 190,5\text{ mm} = 59,5\text{ mm} \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Tulangan

Dalam perhitungan balok didapatkan gaya dalam dan diagram gaya dari analisa program SAP 2000 yang memodelkan stuktur bangunan yang ditinjau. Pada hasil output analisa SAP 2000 digunakan data yang menunjukkan analisa gaya terbesar dari semua frame balok kantilever pada stuktur bangunan, sehingga didapatkan pada frame 1113 pemodelan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5Lr dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP 2000 :

### Hasil Output Torsi

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5Lr

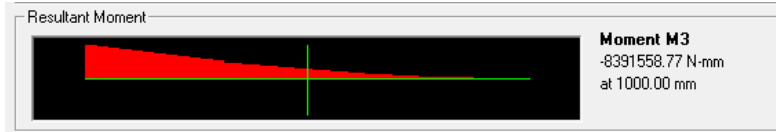
Momen Puntir : 317054,16 Nmm



Gambar 4. 40 : Hasil output SAP 2000 gaya torsi balok kantilever

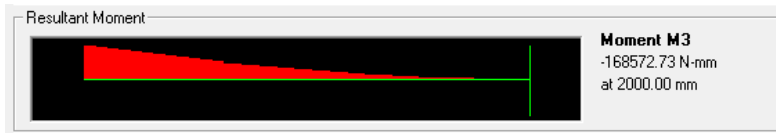
### Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5Lr  
 Momen lapangan : 8391558,77 Nmm



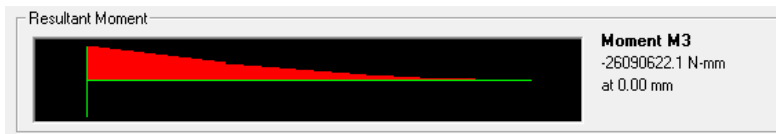
Gambar 4. 41 : Hasil output SAP 2000 momen lapangan balok kantilever

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5Lr  
 Momen Tumpuan kanan : 168572,73 Nmm



Gambar 4. 42 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kanan balok kantilever

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5Lr  
 Momen Tumpuan kiri : 26090622,1 Nmm



Gambar 4. 43 : Hasil output SAP 2000 momen tumpuan kiri balok kantilever

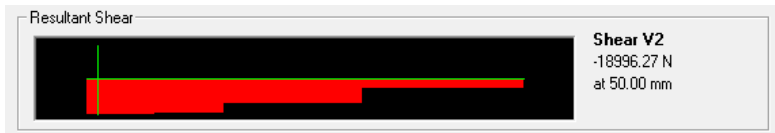


### Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr didapatkan gaya geser terfaktor dengan  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 mm dari as kolom berdasarkan *(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2)*

Kombinasi : 1,2D+1,6L+0,5Lr

Gaya geser  $V_u$  : 18996,27 N



Gambar 4. 44 : Hasil output SAP 2000 gaya geser muka kolom balok kantilever

- ❖ Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran balok yang dipakai 30cm x 40 cm Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok} \\ = 200 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} = 50000 \text{ mm}^2$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ = 2 \times (200\text{mm} + 250\text{mm}) = 900 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$A_{oh} \\ = (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser}) \\ \times (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - 2\phi_{geser}) \\ = (200\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 2 \times 10\text{mm}) \\ \times (250\text{mm} - 2 \times 80\text{mm} - 2 \times 10\text{mm}) \\ = 15000 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang $P_{oh}$ 

$$\begin{aligned}
 &= 2 \\
 &\times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} \\
 &- 2\phi_{geser}) \\
 &+ (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})] \\
 &= 2 \times [(200 - 2 \times 40\text{mm} - 2 \times 10\text{mm}) \\
 &\quad + (200\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} \\
 &\quad - 2 \times 10\text{mm})] \\
 &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Tulangan Puntir**Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: 1,2D+1,6L+0,5Lr

$$T_u = 317054,16 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = \frac{317054,16 \text{ Nmm}}{0,75} = 422738,88 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi: 1,2D+1,6L+0,5Lr pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari beberapa kondisi yakni:

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a)})$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{min}} &= 0,75 \times 0,083 \\
 &\quad \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(50000 \text{ mm}^2)^2}{900 \text{ mm}} \right) \\
 &= 947103,589 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  diambil sebesar

$$T_{u_{max}} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ \text{(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.2.2 (a))}$$

Maka :

$$T_{u_{max}} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ T_{u_{max}} = 0,75 \times 0,33 \\ \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(50000 \text{ mm}^2)^2}{900 \text{ mm}} \right) \\ = 3765592,58 \text{ Nmm}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{min}}$  maka tulangan puntir diabaikan  
 $T_u > T_{u_{min}}$  maka memerlukan tulangan puntir

#### Masuk pada kondisi

$$T_u = 317054,16 \text{ Nmm} > T_{u_{min}} = 947103,589 \text{ Nmm} \\ \textbf{(Memerlukan tulangan puntir)}$$

#### ❖ Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan punter sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7)** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan  $A_t/s$  dihitung sesuai dengan **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)** berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt} \times \cot \emptyset}$$

Maka :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{422738,88 \text{ Nmm}}{2 \times 15000 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Nmm} \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,0414 \text{ mm}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \emptyset$$

$$A_l = 0,04 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \cot^2 45$$

$$A_l = 20,72 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

$$0,0414 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 200 \text{ mm}}{400 \text{ Nmm}}$$

$$0,0414 \text{ mm} \geq 0,0875 \text{ mm}$$

Maka nilai  $A_t/s$  diambil = 0,0875 mm

Chek nilai  $A_l$  min dengan persamaan :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times P_h \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai  $A_{\min}$  :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 240000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 0,0875 \text{ mm} \right) \times 500 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{\min} = 243,80 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan  $A_I$  dengan 2 kondisi yakni

$$A_{\text{perlu}} \leq A_{\min} \text{ Maka menggunakan } A_{\min}$$

$$A_{\text{perlu}} \geq A_{\min} \text{ Maka menggunakan } A_{\text{perlu}}$$

Maka ;

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &\leq A_{\min} \\ 20,72 \text{ mm}^2 &\leq 243,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga yang digunakan nilai  $A_I$  min sebesar  $243,80 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{A_I}{4} = \frac{243,80 \text{ mm}^2}{4} = 60,95 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Untuk sisi samping balok mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $0,5 \times A_I$ , sehingga  $A_I$  pada sisi samping balok adalah  $121,90 \text{ mm}^2$  direncanakan tulangan diameter 10 mm maka jumlah tulangan puntirnya adalah :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_I}{\text{Luas tulangan}} \\ n &= \frac{121,9 \text{ mm}^2}{78,57 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$n = 1,55 \approx 2 \text{ Buah}$$

Kontrol  $A_I$  pasang  $>$   $A_I$  perlu

$$\begin{aligned} A_I \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{Luasan D puntir} \\ &= 2 \times (0,25 \times 22/7 \times (10 \text{ mm})^2) \\ &= 157,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } A_I \text{ pasang} > A_I \text{ perlu}$$

$$= 157,14 \text{ mm}^2 > 121,90 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, kanan dan lapangan dipasang sebesar **2 D 10**.

### **Perhitungan Tulangan Lentur**

#### Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \times 190,5 \text{ mm} = 114,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 114,3 \text{ mm} \\ &= 85,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 70 \text{ mm}$$

#### Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 0,85 \times 70 \text{ mm} \\ &= 303450 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 0,85 \times 70 \text{ mm}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\ &= 758,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 758,63 \text{ mm}^2 \times 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 &\quad \times \left( 190,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 70 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 48779587,50 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

$$M_u \text{ tumpuan} = 168572,73 \text{ Nmm}$$

### Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_u = 168572,73 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{168572,73 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$M_n = 187303,033 \text{ Nmm}$$

### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 187303,033 \text{ Nmm} - 48779587,50 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -48592284,47 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{187303,033 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm} \times (190,5 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,0258 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\
 &= 0,0325 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\
 &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,0258}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\
 &= 0,0001
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\
 0,0035 < 0,0001 < 0,0244 \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Karena  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$  sehingga perlu ditambah 30% dari nilai  $\rho$ .

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= 1,3 \times \rho_{pakai} \times b \times d \\
 &= 1,3 \times 0,0001 \times 200 \text{ mm} \times 190,5 \text{ mm} \\
 &= 3,20 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Cek tulangan minimum pada komponen stuktur lentur :  
Cek terhadap  $A_s \min$  :

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 190,5 \text{ mm}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_{s \min} = 130,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol  $A_s \min$  tidak boleh lebih kurang dari

$$A_{s \min} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4 \times 200 \text{ mm} \times 190,5 \text{ mm}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_{s \min} = 133,35 \text{ mm}^2$$

Maka nilai  $A_{s \min}$  yang digunakan adalah  $133,35 \text{ mm}^2$   
 Direncanakan dengan diameter tulangan 8 mm maka luas tulangan adalah =

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (8 \text{ mm})^2 \\ &= 50,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top), karena tidak ada tulangan puntir maka  $A_l/4 = 0$ .

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 133,35 \text{ mm}^2 + 0 \\ &= 133,35 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\ &= \frac{133,35 \text{ mm}^2}{50,286 \text{ mm}^2} \\ &= 2,652 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 3 \times 50,286 \text{ mm}^2 \\
 &= 150,86 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= 150,86 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = \\
 &133,35 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan sisi bawah balok (bottom). tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 A_s' &= 0,3 \times 150,86 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 45,26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 8 mm :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}} \\
 &= \frac{45,26 \text{ mm}^2}{50,286 \text{ mm}^2} \\
 n &= 0,9 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= 100,57 \text{ mm}^2 > A_s' \text{ perlu} = \\
 &45,26 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 3D8 dan tulangan tekan 1 lapis 2D8.

**Kontrol Tulangan Tarik**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{200\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (3 \times 8\text{mm})}{3 - 1} \\
 &= 38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 38 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

**Kontrol Tulangan Tekan**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{200\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 8\text{mm})}{2 - 1} \\
 &= 84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 84 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok kantilever (20/25) AS G4-G5 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kanan bentang 2 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 3D8

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D8

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ \text{(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)}$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$A_{s\text{pasang}} = 3D8 \\ = 3 \times 0,25 \times 3,14 \times (8\text{mm})^2 \\ = 150,86 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'\text{pasang}} = 2D8 \\ = 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (8\text{mm})^2 \\ = 100,57 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 100,57 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 150,86 \text{ mm}^2$$

$$100,57 \text{ mm}^2 \geq 50,29 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 3D8

Tulangan tekan : 2D8

### Kontrol kemampuan penampang

$A_{s\text{pakai tulangan tarik } 3D8} = 150,86 \text{ mm}^2$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ = \frac{150,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 200\text{mm}} \\ = 150,86 \text{ mm}$$

$$C_c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ = 0,85 \times 200 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 150,86 \text{ mm} \\ = 769386 \text{ N}$$

$$C_s' = A_{s\text{pakai}} \times f_y \\ = 150,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ = 60344 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left( 769386 \text{ N} \times \left( 190,5 \text{ mm} - \frac{150,86 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (60344 \text{ N} \\
 &\quad \times (190,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm})) \\
 &= 96438311 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &\geq M_u \text{ perlu} \\
 11138327,97 \text{ Nmm} &> 187303,03 \text{ Nmm} \\
 (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tekan } 2D16 = 100,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{100,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 200 \text{ mm}} \\
 &= 11,83 \text{ mm} \\
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\
 &= 0,85 \times 200 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 11,83 \text{ mm} \\
 &= 60333 \text{ N} \\
 Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\
 &= 100,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 40229 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left( 60333 \text{ N} \times \left( 190,5 \text{ mm} - \frac{11,83 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (40229 \text{ N} \\
 &\quad \times (190,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm})) \\
 &= 16406565,81 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_{n_{pasang}} > M_u$$

$0,9 \times 16406565,81 \text{ Nmm} > 187303,03 \text{ Nmm}$   
 $14765909,22 \text{ Nmm} > 187303,03 \text{ Nmm}$  (memenuhi)  
 Jadi, penulangan lentur untuk balok kantilever (20/25) AS  
 G4-G5 pada elevasi  $\pm 4 \text{ m}$  untuk daerah tumpuan kiri  
 bentang 2 m adalah sebagai berikut:  
 Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 3D8  
 Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D8

### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 26090622,10 \text{ Nmm}$$

#### Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 26090622,10 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{26090622,10 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 28989580,11 \text{ Nmm}$$

#### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 28989580,11 \text{ Nmm} - 48779587,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -19790007,39 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan,  
 dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan  
 lentur tunggal.

### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{28989580,11 \text{ Nmm}}{200\text{mm} \times (190,5\text{mm})^2} = 3,99 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,99}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,0109 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\ 0,0033 &< 0,0109 < 0,0244 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,0109 \times 200\text{mm} \times 190,5\text{mm} \\ &= 416,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan dengan tulangan berdiameter 12 mm

$$\begin{aligned}\text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2 \\ &= 113,143 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

***Jumlah tulangan pasang***

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= 416,08 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\ &= \frac{416,08 \text{ mm}^2}{113,143 \text{ mm}^2} \\ &= 3,677 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \\ A_{s \text{ pasang}} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\ &= 4 \times 113,143 \text{ mm}^2 \\ &= 452,57 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

***Kontrol***

$$A_{s \text{ pasang}} = 452,57 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 416,08 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan tulangan perlu tekan sisi bawah balok (bottom). sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_{s'}$  adalah :

$$A_{s'} = 0,3 \times A_s$$

$$A_{s'} = 0,3 \times 452,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 135,77 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 12 mm :

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{s'}}{\text{Luasan Tulangan Lentur}} \\ n &= \frac{135,77 \text{ mm}^2}{113,14 \text{ mm}^2}\end{aligned}$$



$$n = 1,2 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 226,29 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 135,77 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D16 dan tulangan tekan 1 lapis 2D16.

### ***Kontrol Tulangan Tarik***

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{200 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 12 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 25,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 25,33 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### ***Kontrol Tulangan Tekan***

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 76 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok kantilever (20/25) AS G4-G5 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kiri bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D12

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D12

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= 4D16 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (12\text{mm})^2 \\ &= 452,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A'_{\text{pasang}} &= 2D16 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (12\text{mm})^2 \\ &= 226,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$226,29 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 452,57 \text{ mm}^2$$

$$226,29 \text{ mm}^2 \geq 150,86 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D16

Tulangan tekan : 2D16

**Kontrol kemampuan penampang**

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik } 4D12 = 452,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{452,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 200 \text{ mm}} \\ &= 35,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 200 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 35,50 \text{ mm} \\ &= 181050 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\ &= 452,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 181028 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left( 181050 \text{ N} \times \left( 190,5 \text{ mm} - \frac{35,50 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\ &\quad + (181028 \text{ N} \\ &\quad \times (190,05 \text{ mm} - 59,9 \text{ mm})) \\ &= 54837182 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &\geq Mu \text{ perlu} \\ 54837181,7 \text{ Nmm} &> 28989580,11 \text{ Nmm} \\ &(\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok BA (30/40) AS G4-G5 pada elevasi  $\pm 4$  m untuk daerah tumpuan kiri bentang 4m

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D12

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D12.

Akan tetapi untuk pelaksanaan penulangan disamakan dengan tumpuan kanan balok untuk memudahkan pelaksanaan penulangan.

### **Daerah Lapangan**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

$$M_u \text{ lapangan} = 8391558,77 \text{ Nmm}$$

#### Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} \\ &= \frac{8391558,77 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 9323954,19 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 9323954 \text{ Nmm} - 48779587,5 \text{ Nmm} \\ &= -39455633,31 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} = -39455633,31 \text{ Nmm} \leq 0$  (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{9323954,19 \text{ Nmm}}{200\text{mm} \times (109,5\text{mm})^2} = 1,285 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30\text{N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,285}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right)$$

$$= 0,0033$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0033 < 0,0244 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Karena  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$  sehingga perlu ditambah 30% dari nilai  $\rho$ .

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 1,3 \times 0,0033 \times 300 \text{ mm} \times 362 \text{ mm}$$

$$= 163,29 \text{ mm}^2$$

Direncanakan dengan tulangan lapangan berdiameter 12 mm sehingga luasan tulangan lentur daerah tumpuan adalah :

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2$$

$$= 113,143 \text{ mm}^2$$

### **Jumlah tulangan pasang**

Luasan tulangan perlu tarik

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s$$

$$= 163,29 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}}$$

$$= \frac{163,29 \text{ mm}^2}{113,14 \text{ mm}^2} = 1,443 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\ &= 2 \times 113,14 \text{ mm}^2 \\ &= 226,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\text{As pasang} = 226,29 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 163,29 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan tulangan perlu tekan). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka As' adalah :

$$\text{As}' = 0,3 \times \text{As}$$

$$\text{As}' = 0,3 \times 226,29 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}' = 67,89 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 16 mm :

$$n = \frac{\text{As}'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}} = \frac{67,89 \text{ mm}^2}{113,143 \text{ mm}^2}$$

$$n = 0,6 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\underline{n = 0,6 \approx 2 \text{ buah}}$$

*Kontrol*

$$\text{As}' \text{ pasang} = 67,89 \text{ mm}^2 > \text{As}' \text{ perlu} = 67,89 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

*Syarat:*

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun lebih dari satu lapis

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 2D12 dan tulangan tekan 1 lapis 2D12.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{200\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 12\text{mm})}{2 - 1} \\
 &= 76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} = 76 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun 1 lapis

### **Kontrol Tulangan Tekan**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlahtul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlahtulangan} - 1} \\
 &= \frac{200\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 12\text{mm})}{2 - 1} \\
 &= 76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$S_{maks} = 76 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$  susun 1 lapis

Maka dipasang tulangan lentur balok BA (30/40) AS E5-E6 pada elevasi  $\pm 4 \text{ m}$  daerah lapangan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 2D12

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D12

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima

kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentuk tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentuk tumpuan (-)}$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= 2D12 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (12 \text{ mm})^2 \\ &= 226,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= 2D12 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (12 \text{ mm})^2 \\ &= 226,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentuk tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} \times M_{lentuk tumpuan (-)} \\ 226,29 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 226,29 \text{ mm}^2 \\ 226,29 \text{ mm}^2 &\geq 75,43 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 2D12

Tulangan tekan : 2D12

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik } 2D12 = 226,29 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{226,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 200 \text{ mm}} \\ &= 17,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 200 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 17,75 \text{ mm} \\ &= 90525 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Cs' = A_{s_{pakai}} \times f_y$$



$$\begin{aligned}
 &= 226,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 90516 \text{ N} \\
 M_n &= \left( C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s' \times (d - d') \right) \\
 &= \left( 90525 \text{ N} \times \left( 190,5 \text{ mm} - \frac{17,75 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + \left( 90516 \text{ N} \right. \\
 &\quad \left. \times (190,5 \text{ mm} - 59,9 \text{ mm}) \right) \\
 &= 28262992,73 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_n \geq M_u$$

$$\begin{aligned}
 0,9 \times 28262992,73 \text{ Nmm} &> 9323954,19 \text{ Nmm} \\
 25436693,45 \text{ Nmm} &> 9323954,19 \text{ Nmm} \\
 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok kantilever (20/25)  
AS G4-G5 pada elevasi  $\pm 4$  m daerah lapangan bentang 2  
m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 2D12

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D12

### Perhitungan Tulangan Geser

Data Perencanaan balok sebagai berikut:

$f_c'$	= 30 N/mm <sup>2</sup>
$f_y$	= 240 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$	= 0,85
$\phi_{\text{reduksi}}$	= 0,75
Lebar	= 200 mm
Tinggi	= 250 mm
$\phi_{\text{sengkang}}$	= 10 mm

- ❖ Dalam analisa perhitungan tulangan lentur didapatkan tulangan lentur tumpuan kanan dan kiri dengan luasan tulangan untuk mencari momen nominal kiri dan momen nominal kanan sebagai berikut :

➤ Tumpuan kanan

- As pakai tulangan tarik 3D8 = 150,86 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 2D8 = 100,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As_{\text{tul tekan}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{100,57 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 200 \text{ mm}}$$

$$a = 7,89 \text{ mm}$$

$$Mn_R = As_{\text{tul tarik}} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn_R = 150,86 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times \left(190,5 \text{ mm} - \frac{90,5 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mn_R = 11257323,41 \text{ Nmm}$$

## ➤ Tumpuan kiri

- As pakai tulangan tarik 4D12 = 452,57 mm<sup>2</sup>
- As pakai tulangan tekan 2D12 = 226,29 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{452,57 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 200 \text{ mm}}$$

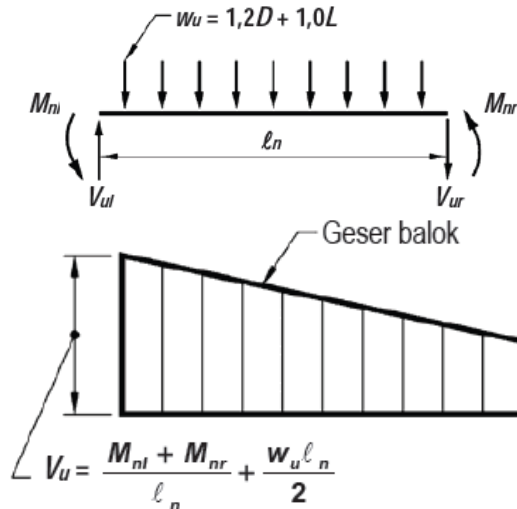
$$a = 35,5 \text{ mm}$$

$$Mn_L = As \text{ tul lentur} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn_L$$

$$= 452,57 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times \left(190,5 \text{ mm} - \frac{35,5 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$Mn_L = 31273066,03 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 45 Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr dari analisa SAP 2000 didapatkan gaya geser terfaktor sebesar  $V_u = 18996,27 \text{ N}$

**Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari**

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))**

Dimana:

$V_{u1}$  : gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$l_n$  : panjang balok bersih

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$= \frac{31273066,03 \text{ Nmm} + 11257323,41 \text{ Nmm}}{1750 \text{ mm}} + 3547,99 \text{ N}$$

$$= 43299,39 \text{ N}$$

**Syarat kuat tekan beton ( $F_c'$ )**

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 Mpa

**(SNI 03-2847-2013, pasal 11.1.2)**

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{30 \text{ Mpa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi syarat SNI)}$$

**Kuat Geser Beton**

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)**

Dengan:

$\lambda = 1$  , untuk beton normal

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 200\text{mm} \times 190,5\text{mm} \\
 &= 35475,99 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**Kuat Geser Tulangan Geser**

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times 200\text{mm} \times 190,5\text{mm} \\
 &= 12573 \text{ N} \\
 V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 190,5 \text{ mm} \\
 &= 68865,15 \text{ N} \\
 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 200 \text{ mm} \times 190,5 \text{ mm} \\
 &= 137730,314 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**Pembagian Wilayah Geser Balok**

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

7. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
8. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.

***Penulangan Geser Balok***

***g.) Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)***

$$V_{u1} = 43299,35 \text{ N}$$

*Cek Kondisi:*

**Kondisi Geser 1**

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$43299,35 \text{ N} \leq 13303,50 \text{ N}$  (Tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 2**

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$13303,5 \text{ N} \leq 43299,35 \text{ N} \leq 26606,99 \text{ N}$  (Tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 3**

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$26606,99 \text{ N} \leq 43299,35 \text{ N} \leq 36036,74 \text{ N}$  (Tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 4**

$\emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser

$36036,74 \text{ N} \leq 43299,35 \text{ N} \leq 78255,86 \text{ N}$  (memenuhi)

**Kondisi Geser 5**

$\emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser

$78255,86 \text{ N} \leq 43299,35 \text{ N} \leq 129904,73 \text{ N}$  (Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_{s_{perlu}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$= \frac{43299,35 \text{ N} - 0,75 \times 35475,99 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 22256,47 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset 8 \text{ mm}$  dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (8 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 100,57 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{S_{\text{perlu}}}}$$

$$= \frac{100,57 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times 8 \text{ mm}}{22256,476 \text{ N}}$$

$$= 206,6 \text{ mm, dipakai } 90 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$90 \text{ mm} \leq \frac{190,5 \text{ mm}}{2}$$

$$90 \text{ mm} \leq 95,3 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} \leq 300$$

$$90 \text{ mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\varnothing 8 - 90 \text{ mm}$ .

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- m.  $d/4$
- n. Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- o. 24 kali diameter sengkang
- p. 300 mm

(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(2))

Cek persyaratan

- m.  $S_{\text{pakai}} < d/4$   
 $90 \text{ mm} < 47,6 \text{ mm}$  (tidak memenuhi persyaratan)
- n.  $S_{\text{pakai}} < 8 \times D \text{ lentur}$   
 $90 \text{ mm} < 96 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)
- o.  $S_{\text{pakai}} < 24 \times D \text{ sengkang}$   
 $80 \text{ mm} < 192 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

- p.  $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$   
 $80 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$  (memenuhi persyaratan)

**h.) Wilayah 2 Daerah (Lapangan)**

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segetiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{u2}}{0,5L_n - 2h} &= \frac{V_{u1}}{0,5L_n} = \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (0,5L_n - 2h)}{0,5L_n} \\ &= \frac{43299,35 \text{ N} \times ((0,5 \times (2000 - 250) \text{ mm}) - (2 \times 200 \text{ mm}))}{(0,5 \times (2000 - 250) \text{ mm})} \\ &= 18556,86 \text{ N}\end{aligned}$$

*Cek Kondisi:*

**Kondisi Geser 1**

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$  Tidak perlu tulangan geser  
 $18556,86 \text{ N} \leq 13303,5 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 2**

$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $13303,5 \text{ N} \leq 18556,86 \text{ N} \leq 26606,99 \text{ N}$   
 (memenuhi)

**Kondisi Geser 3**

$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum  
 $26606,99 \text{ N} \leq 18556,86 \text{ N} \leq 36036,74 \text{ N}$   
 (tidak memenuhi)

**Kondisi Geser 4**

$\phi(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser  
 $36036,74 \text{ N} \leq 18556,86 \text{ N} \leq 78255,86 \text{ N}$   
 (memenuhi)

**Kondisi Geser 5**



$\emptyset(V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + 2V_{s_{\max}}) \rightarrow$  Perlu tulangan geser

$$78255,86 \text{ N} \leq 18556,86 \text{ N} \leq 129904,73 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2.

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= 1/3 b \cdot d \\ &= 1/3 \times 200 \text{ mm} \times 190,5 \text{ mm} \\ &= 12573 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø8 mm dengan jumlah kaki  $n=2$  dan direncanakan jarak antar sengkang 90 mm, maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_v \min &= \frac{b_w \times s}{3 f_y} \\ &= \frac{200 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}}{3 \times 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\ &= 25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{101 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2 \times 10 \text{ mm}}{18557 \text{ N}} \\ &= 51090 \text{ N} > V_{s_{\text{perlu}}} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- d. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok (lapangan)

(SNI 03-2847-2013, pasal 21.3.4.(3))

Cek persyaratan

d.  $S_{pakai} < d/2$

$$90 \text{ mm} < 95,3 \text{ mm} \text{ (memenuhi persyaratan)}$$

**Perhitungan Panjang Penyaluran**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan yang disebut sebagai panjang penyaluran tulangan.

**Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung dengan panjang penyaluran tidak boleh kurang dari 8db dan 150 mm.

$$l_d = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

*(SNI 2847:2013, pasal 12.5.1)*

Dimana :

$l_d$  = Panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = Diameter tulangan

$\Psi_e$  = Faktor pelapis = 1

$\lambda$  = Faktor digunakan agegat normal 1

Kontrol antar persamaan

$$l_d = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{F_c'}} \times d_b$$

$$l_d = \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ Nmm}}{1 \times \sqrt{30 \text{ Nmm}}} \times 12 \text{ mm}$$

$$l_d = 210,32 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \times l_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{416,08 \text{ mm}^2}{452,57 \text{ mm}^2} \times 210,32 \text{ mm}$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = 193,36 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Maka untuk panjang penyaluran tulangan dalam adalah  $200 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm}$  dan  $\geq 8db$  (128 mm) (memenuhi).

#### 4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Kolom

##### 4.2.3.4.1 Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Perhitungan tulangan lentur kolom ditinjau berdasarkan aksial terbesar, momen terbesar. Untuk kolom K1 (50x50)cm<sup>2</sup> pada as D-6 lantai 1. Berikut ini adalah data perencanaan kolom berdasarkan gambar denah kolom, hasil output diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

Data Perencanaan :

Tipe Kolom	: K-1
As Kolom	: 5-E
Dimensi kolom	: 50cmx50cm
Tinggi kolom	: 4000 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
Modulus elastisitas beton ( $E_c$ )	: $4700 \sqrt{f_c'}$
Modulus elastisitas baja ( $E_s$ )	: 200000 MPa
$F_y$ lentur	: 400 MPa
$F_y$ geser	: 240 MPa
D lentur	: 25 mm
$\emptyset$ geser	: 12 mm
Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm

*(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)*

Jarak spasi tulangan sejajar	: 40 mm
------------------------------	---------

*(SNI 2847-2013 pasal 7.6.3)*

Faktor $\beta_1$	: 0,85
------------------	--------

*(SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.(3))*

Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ )	: 0,65
--	--------

*(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2(2))*

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ )	: 0,75
---	--------

*(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.(3))*

- Gaya aksial berdasarkan output SAP 2000 pada frame 1344



$$P_{DL} = 1285374,30 \text{ N}$$



$$P_U(1,2D+1,6L+0,5Lr) = 3473726,80 \text{ N}$$

Momen pada penampang kolom ditinjau dari dua arah, yaitu momen arah X dan arah Y.

- Untuk Momen arah X

Momen akibat pengaruh gempa :

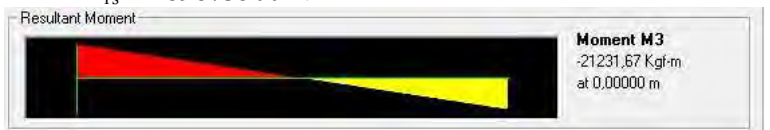
$M_{1s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm (SNI 2847-2013)

$M_{2s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm (SNI 2847-2013)

Output SAP2000



$$M_{1s} = 189873500 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 212316700 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M_{1ns}$  = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping (SNI 2847-2013)

$M_{2ns}$  = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping (SNI 2847-2013)

Output SAP2000 :



$$M_{1ns} = 35654000 \text{ Nmm}$$

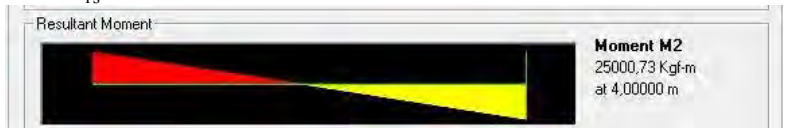


$$M_{2ns} = 76323100 \text{ Nmm}$$

- Untuk Momen arah Y  
Momen akibat pengaruh gempa :  
Output SAP2000



$$M_{1s} = 242565900 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 250007300 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

Output SAP2000



$$M_{1ns} = 52789700 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 108841400 \text{ Nmm}$$

- Syarat Gaya Aksial Pada Kolom  
Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2** Gaya tekan aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi  $A_g \cdot f_c' / 10$  dan Bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (Ketentuan Kolom untuk SRPMM)

$$P_u > \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

$$3473726,80 \text{ N} > \frac{500 \cdot 500 \cdot 30}{10}$$

$$3473726,80 \text{ N} > 750000 \text{ (Memenuhi)}$$

Menghitung faktor Kekakuan Kolom :

- Menghitung faktor  $\beta_d$   
 $\beta_d$  = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\begin{aligned} \beta_d &= \frac{1,2 \times P_{DL}}{P_U (1,2D + 1,6L + 0,5L_r)} \\ &= \frac{1,2 \times 1285374,30 \text{ N}}{3473726,80 \text{ N}} \\ &= 0,44 \end{aligned}$$

- Panjang tekuk kolom

$$\Psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom}}}{\Sigma(EI/L)_{\text{balok}}}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7.2)**

Untuk kolom (50/50)

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned} I_k &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 500\text{mm} \times (500\text{mm})^3 \\ &= 364583333,33 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= 4700\sqrt{f_c} \\ &= 4700\sqrt{30 \text{ MPa}} \\ &= 25742,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Elk &= \frac{0,4 \times Ec \times I_k}{1 + \beta_d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \text{ Nmm} \times 364583333,33 \text{ mm}^4}{1 + 0,44} \\ &= 2,60 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Untuk balok induk (40/60)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned} I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^3 \\ &= 252000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ec &= 4700\sqrt{f_c} \\ &= 4700\sqrt{30 \text{ MPa}} \\ &= 25742,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

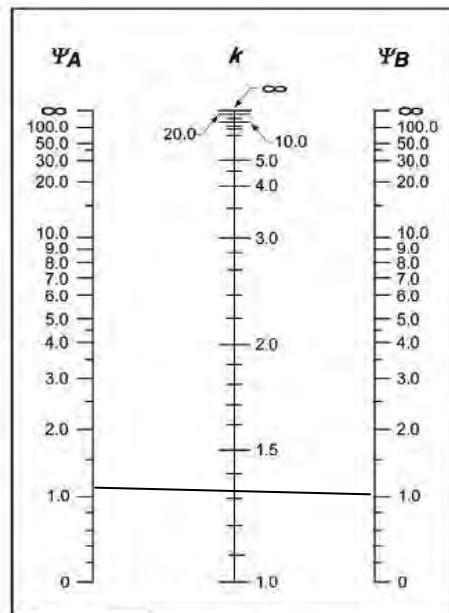
$$\begin{aligned} Elb &= \frac{0,4 \times Ec \times I_g}{1 + \beta_d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \text{ Nmm} \times 252000000 \text{ mm}^4}{1 + 0,44} \\ &= 1,80 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

- Kekakuan kolom atas

$$\begin{aligned}\Psi_A &= \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom atas}}}{2 \cdot (EI/L)_B + (EI/L)_B + (EI/L)_B} \\ &= \frac{\frac{2,60 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{4000 \text{ mm}} + \frac{2,60 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{4200 \text{ mm}}}{2 \cdot \frac{1,80 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{8000 \text{ mm}} + \frac{1,80 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{6000 \text{ mm}} + \frac{1,80 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{4000 \text{ mm}}} \\ &= 1,059\end{aligned}$$

- Kekakuan kolom bawah

$$\begin{aligned}\Psi_B &= \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom bawah}}}{\Sigma(EI/L)_S} \\ &= 1 \text{ (karena menumpu pada pondasi)}\end{aligned}$$



(b)

Rangka bergoyang

Gambar 4. 46 : Grafik aligment



Dari grafik aligment didapatkan faktor panjang efektif  
(K) = 1,31

Kontrol kelangsingan kolom :

$$\begin{aligned} r &= 0,3 \times h \\ &= 0,3 \times 500 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

*(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1.2)*

$$\frac{k \times L_u}{r} \leq 22$$

$$\frac{1,31 \times 4000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \leq 22$$

34,93  $\geq$  22 maka kolom termasuk kolom langsing

*(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1(a))*

#### • **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

Momen akibat kombinasi gempa output SAP 2000

$$M_{1s} = 189873500 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 212316700 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi output SAP  
2000 kombinasi (1.2D+1.6L+0.5Lr)

Akibat kombinasi:

$$M_{1ns} = 35654000 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 76323100 \text{ Nmm}$$

Menghitung faktor pembesaran momen ( $\delta_s$ )

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{(K \times L_u)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times 2,60 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2}{(1,31 \times 4000 \text{ mm})^2} = 9344915,01 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 46 \times 9344915,01 \text{ N} = 429866090,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 46 \times 3473726,80 \text{ N} = 159791432,80 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana :

$\Sigma P_c$  = jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada suatu tingkat

$\Sigma P_u$  = jumlah seluruh beban vertikal yang bekerja pada suatu tingkat (diambil dari output SAP)  
(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7.4)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{159791432,80 \text{ N}}{0,75 \times 429866090,67 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,98 \geq 1$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,844$  dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran momen X :

Dari output SAP2000 diperoleh :

$$M_{1ns} = 35654000 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 76323100 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} = 189873500 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 212316700 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 35654000 \text{ Nmm} + (1,98 \times 189873500 \text{ Nmm}) \\ &= 412112006,23 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 76323100 \text{ Nmm} + (1,98 \times 212316700 \text{ Nmm}) \\ &= 497278744,53 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 497278744,53 \text{ Nmm}$$

Maka Momen yang digunakan untuk menghitung kolom adalah  $M_2 = 497278744,53 \text{ Nmm}$

- Penentuan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah

$$\begin{aligned}\mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Øgeser}) - \text{Ølentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - 25 \text{ mm} \\ &= 371 \text{ mm}\end{aligned}$$

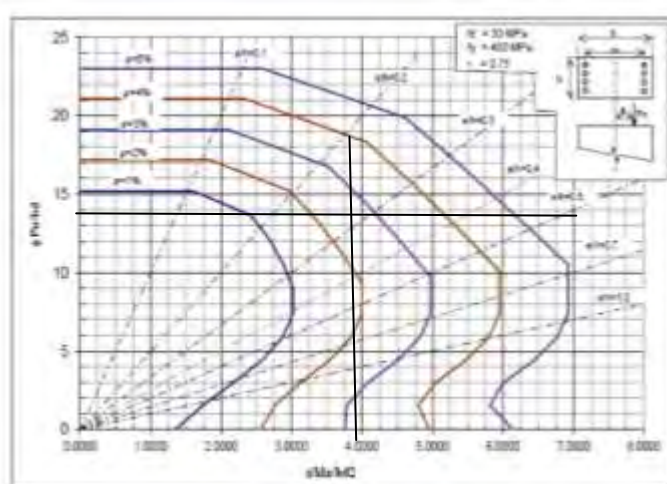
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{371 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,75$$

Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{3473726,80 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} = 13,89 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}\frac{\phi M_n}{A_g \cdot h} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{497278744,53 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2} = 3,98 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$



Gambar 4. 47 : Diagram Interaksi Penulangan

Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 2,6 \% = 0,026$

- Penentuan tulangan lentur kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,026 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 6500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D25} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D25}} \\ n &= \frac{6500 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} \\ &= 13,24 \approx 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{pasang}} &= \text{As}' \\ &= n \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 16 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 7853,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan 16D25

- Prosentase Tulangan Terpasang

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{7853,98 \text{ mm}^2}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \times 100\% \\ &= 3,14 \% < 8\% \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Cek kondisi balance

$$\begin{aligned} d &= 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 25 = 435,5 \text{ mm} \\ d' &= 40 + 12 + \frac{1}{2} 25 = 64,5 \text{ mm} \\ d'' &= 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 25 - \frac{1}{2} 500 = 185,5 \text{ mm} \\ xb &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \end{aligned}$$

$$= \frac{600}{(600+400 \text{ MPa})} 435,5 \text{ mm}$$

$$= 261,30 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85 \cdot xb$$

$$= 0,85 \cdot 261,30 \text{ mm}$$

$$= 222,11 \text{ mm}$$

$$Cs' = As' (fy - 0,85 \cdot fc')$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 2941316,12 \text{ N}$$

$$T = As' \cdot fy$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 3141592,65 \text{ N}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc' \cdot b \cdot xb$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm} \times 261,30 \text{ mm}$$

$$= 283183875 \text{ N}$$

$$Pb = Cc' + Cs' - T$$

$$= 283183875 \text{ N} + 2941316,12 \text{ N} - 3141592,65 \text{ N}$$

$$= 2631562,22 \text{ N}$$

$$Mb = Pb \times eb$$

$$= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 283183875 \text{ N} \cdot \left( 435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - \frac{222,11 \text{ mm}}{2} \right) + 2941316,12 \text{ N} \cdot (435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - 64,5 \text{ mm}) + 3141592,65 \text{ N} \cdot 185,5 \text{ mm}$$

$$= 1,52 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

$$e_b = \frac{Mb}{Pb}$$

$$= \frac{1,52 \times 10^9 \text{ Nmm}}{2631562,22 \text{ N}}$$

$$= 578,31 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{497278744,53 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 7,65 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \\
 P_u &= \frac{3473726,80 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 5,34 \cdot 10^6 \text{ N} \\
 e_{\text{perlu}} &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= \frac{7,65 \cdot 10^8 \text{ Nmm}}{5,34 \cdot 10^6 \text{ N}} \\
 &= 143,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\
 &= 30,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1.2)

Kontrol kondisi

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\
 30,24 \text{ mm} &< 143,15 \text{ mm} < 578,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk kondisi tekan menentukan

### Kontrol kondisi tekan menentukan

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\
 30,24 \text{ mm} &< 143,15 \text{ mm} < 578,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 7853,98 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\
 &= 2941316,12 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm} \times X \\
 &= 10837,5 \text{ N/mm} \cdot X
 \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$\begin{aligned}
 a &= 0,54 d \\
 0,85X &= 0,54 \cdot 435,5 \text{ mm} \\
 X &= 276,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**(Desain Beton Bertulang *CHU-KIA WANG CHARLES*  
G.SALMON hal. 423)**

Maka,

$$\begin{aligned} Cc' &= 10837,5 \text{ N/mm} \cdot 276,67 \text{ mm} \\ &= 2998417,50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s' \cdot f_s \\ &= A_s' \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) 600 \\ &= 7853,98 \text{ mm}^2 \cdot \left( \left( \frac{435,5}{276,67} \right) - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 2705260,34 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y \text{ (} f_y > f_s \text{)}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= \left( \frac{435,5 \text{ mm}}{276,67 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \cdot E_s \\ &= 0,0017 \cdot 200000 \text{ MPa} \\ &= 344,44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,0017 < 0,002 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} P &= Cc' + Cs' - T \\ &= 2998417,50 \text{ N} + 2941316,12 \text{ N} - 2705260,34 \text{ N} \\ &= 3234473,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P > P_b$$

$$3234473,28 \text{ N} > 2631562,22 \text{ N} \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot X \\ &= 0,85 \cdot 276,67 \text{ mm} = 235,17 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{terpasang}}} &= Cc' \left( d - d'' - \frac{a}{2} \right) + Cs'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2998417,50 \quad N \cdot \left( 435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - \frac{235,17 \text{ mm}}{2} \right) + 2941316,12 \quad N \cdot (435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - 64,5 \text{ mm}) + 2705260,34 \quad N \cdot 185,5 \text{ mm} \\
 &= 1,44 \times 10^9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{terpasang}}} &> M_n \\
 1,44 \times 10^9 \text{ Nmm} &> 7,65 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

• **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

Momen akibat kombinasi gempa output SAP 2000

$$M_{1s} = 242565900 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 250007300 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi output SAP 2000 kombinasi (1.2D+1.6L+0.5Lr)

Akibat kombinasi:

$$M_{1ns} = 52789700 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 108841400 \text{ Nmm}$$

**Menghitung faktor pembesaran momen ( $\delta_s$ )**

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{(K \times L_u)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \times 2,60 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{(1,31 \times 4000 \text{ mm})^2} = 9344915,01 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma P_c &= n \times P_c \\
 &= 46 \times 9344915,01 \text{ N} = 429866090,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma P_u &= n \times P_u \\
 &= 46 \times 3473726,80 \text{ N} = 159791432,80 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dimana :

$\Sigma P_c$  = jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada suatu tingkat

$\Sigma P_u$  = jumlah seluruh beban vertikal yang bekerja pada suatu tingkat (diambil dari output SAP)

*(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7.4)*



$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{159791432,80 \text{ N}}{0,75 \times 429866090,67 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,98 \geq 1$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,844$  dalam perhitungan perbesaran momen.

#### Pembesaran momen Y:

Dari output SAP2000 diperoleh :

$$M_{1ns} = 52789700 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 108841400 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} = 242565900 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 250007300 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 52789700 \text{ Nmm} + (1,98 \times 242565900 \text{ Nmm}) \\ &= 533719767,09 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 108841400 \text{ Nmm} + (1,98 \times 250007300 \text{ Nmm}) \\ &= 604525366,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 604525366,96 \text{ Nmm}$$

Maka Momen yang digunakan untuk menghitung kolom adalah  $M_2 = 604525366,96 \text{ Nmm}$

- Penentuan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah

$$\begin{aligned} \mu_h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - \emptyset \text{lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - 25 \text{ mm} \\ &= 371 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{371 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,75$$

Sumbu Vertikal

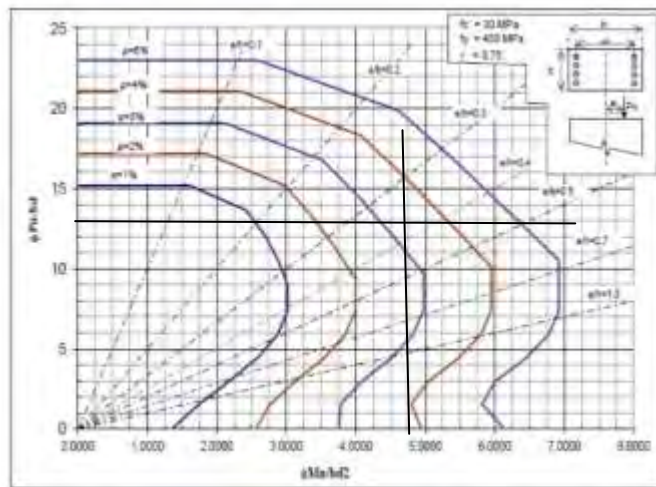
$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \cdot h}$$

$$= \frac{3473726,80 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} = 13,89 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \cdot h} = \frac{M_u}{b \cdot h^2}$$

$$= \frac{604525366,96 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2} = 4,84 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 48 : Diagram Interaksi Penulangan

Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 3,1 \% = 0,031$

- Penentuan tulangan lentur kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$$

$$= 0,031 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$$

$$= 7750 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D25} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D25}} \\ n &= \frac{7750 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} \\ &= 15,79 \approx 16 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{pasang}} &= \text{As}' \\ &= n \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 16 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 7853,98 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan 16D25

- Prosentase Tulangan Terpasang

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{7853,98 \text{ mm}^2}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \times 100\% \\ &= 3,14 \% < 8\% \text{ (ok)}\end{aligned}$$

Cek kondisi balance

$$\begin{aligned}d &= 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 25 = 435,5 \text{ mm} \\ d' &= 40 + 12 + \frac{1}{2} 25 = 64,5 \text{ mm} \\ d'' &= 500 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 25 - \frac{1}{2} 500 = 185,5 \text{ mm} \\ x_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \\ &= \frac{600}{(600 + 400 \text{ MPa})} 435,5 \text{ mm} \\ &= 261,30 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= 0,85 \cdot xb \\
 &= 0,85 \cdot 261,30 \text{ mm} \\
 &= 222,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' (fy - 0,85 \cdot fc') \\
 &= 7853,98 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\
 &= 2941316,12 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As' \cdot fy \\
 &= 7853,98 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 3141592,65 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc' \cdot b \cdot xb \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm} \times 261,30 \text{ mm} \\
 &= 283183875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 283183875 \text{ N} + 2941316,12 \text{ N} - 3141592,65 \text{ N} \\
 &= 2631562,22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 283183875 \text{ N} \cdot \left( 435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - \frac{222,11 \text{ mm}}{2} \right) + 2941316,12 \text{ N} \cdot (435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - 64,5 \text{ mm}) + 3141592,65 \text{ N} \cdot 185,5 \text{ mm} \\
 &= 1,52 \times 10^9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{Mb}{Pb} \\
 &= \frac{1,52 \times 10^9 \text{ Nmm}}{2631562,22 \text{ N}} \\
 &= 578,31 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{604525366,96 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 9,30 \cdot 10^8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pu &= \frac{3473726,80 \text{ N}}{0,65}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5,34 \cdot 10^6 \text{ N} \\
 e_{\text{perlu}} &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= \frac{9,30 \cdot 10^8 \text{ Nmm}}{5,34 \cdot 10^6 \text{ N}} \\
 &= 174,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\
 &= 30,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1.2)**

Kontrol kondisi

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\
 30,24 \text{ mm} &< 174,03 \text{ mm} < 578,31 \text{ mm} \\
 \text{Maka kolom termasuk kondisi tekan menentukan}
 \end{aligned}$$

### **Kontrol kondisi tekan menentukan**

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &< e_{\text{perlu}} < e_b \\
 30,24 \text{ mm} &< 174,03 \text{ mm} < 578,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 7853,98 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\
 &= 2941316,12 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm} \times X \\
 &= 10837,5 \text{ N/mm} \cdot X
 \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$\begin{aligned}
 a &= 0,54 d \\
 0,85X &= 0,54 \cdot 435,5 \text{ mm} \\
 X &= 276,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES  
G.SALMON hal. 423)**

Maka,

$$\begin{aligned} Cc' &= 10837,5 \text{ N/mm} \cdot 276,67 \text{ mm} \\ &= 2998417,50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= As' \cdot fs \\ &= As' \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) 600 \\ &= 7853,98 \text{ mm}^2 \cdot \left( \left( \frac{435,5}{276,67} \right) - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 2705260,34 \text{ N} \end{aligned}$$

$\epsilon_s < \epsilon_y$  ( $f_y > f_s$ )

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= \left( \frac{435,5 \text{ mm}}{276,67 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \cdot E_s \\ &= 0,0017 \cdot 200000 \text{ MPa} \\ &= 344,44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$\epsilon_s < \epsilon_y$

0,0017 < 0,002 (OK)

$$\begin{aligned} P &= Cc' + Cs' - T \\ &= 2998417,50 \text{ N} + 2941316,12 \text{ N} - 2705260,34 \text{ N} \\ &= 3234473,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$P > P_b$

3234473,28 N > 2631562,2 N (OK)

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot X \\ &= 0,85 \cdot 276,67 \text{ mm} = 235,17 \text{ mm} \end{aligned}$$

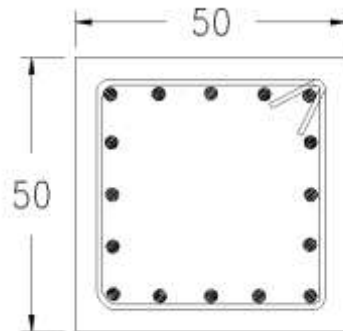
$$\begin{aligned} M_{n_{\text{terpasang}}} &= Cc' \left( d - d'' - \frac{a}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 2998417,50 \text{ N} \cdot \left( 435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - \frac{235,17 \text{ mm}}{2} \right) + 2941316,12 \text{ N} \cdot (435,5 \text{ mm} - 185,5 \text{ mm} - 64,5 \text{ mm}) + 2705260,34 \text{ N} \cdot 185,5 \text{ mm} \\ &= 1,44 \times 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$Mn_{\text{terpasang}} > Mn$$

$$1,44 \times 10^9 \text{ Nmm} > 9,30 \cdot 10^8 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

Dari peninjauan tulangan lentur sumbu X dan sumbu Y maka pemasangan tulangan kolom didasarkan pada penulangan lentur terbesar yaitu pada peninjauan sumbu Y. Sehingga pada perencanaan penulangan kolom bangunan gedung dipasang tulangan 16D25.



Gambar 4. 49 : Detail penulangan

- Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 t_{\text{selimut}}) - (2 \phi_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{max}} = 67,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

maka tulangan lentur disusun 1 lapis

## Cek dengan program pcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis `pcaColumn`, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

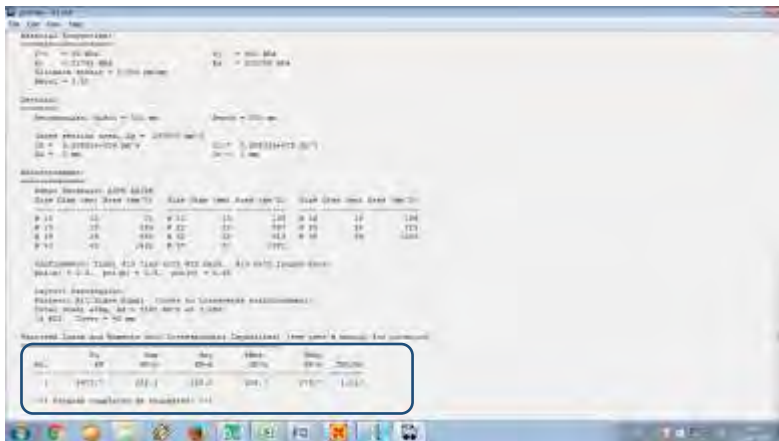
$$\text{Mutu beton (fc')} = 30 \text{ N/mm}^2$$

Mutu baja tulangan ( $f_y$ ) = 400 N/mm<sup>2</sup>

Modulus elastisitas = 25742,96 N/mm<sup>2</sup>

$$\beta_1 = 0,85$$

Dimensi kolom = 500mm x 500mm



Berdasarkan output dari `pcaColumn`

$$M_{ux} = 212,3 \text{ kNm} < M_{nx} = 236,7 \text{ kNm}$$
$$M_{uy} = 250 \text{ kNm} < M_{ny} = 278,7 \text{ kNm}$$

Jadi kolom dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.



#### 4.2.3.4.2 Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Data Perencanaan :

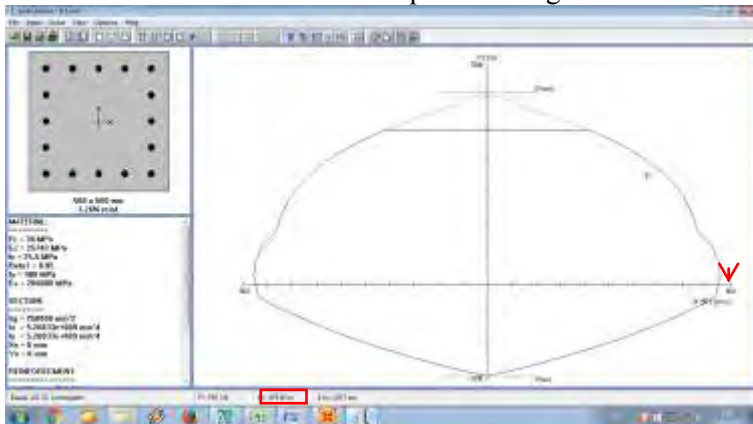
h kolom	: 500 mm
b kolom	: 500 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 4000 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur( $f_y$ )	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser( $f_{yv}$ )	: 240 MPa
Diameter Tulangan lentur	: D25
Diameter Tulangan geser	: $\phi 12$
Faktor Reduksi	: 0,75

(SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan hasil out put progam SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom as 5-E lantai 1 sebagai berikut:

$$P_U(1,2D+1,6L+0,5L_r) = 3473726,80 \text{ N}$$

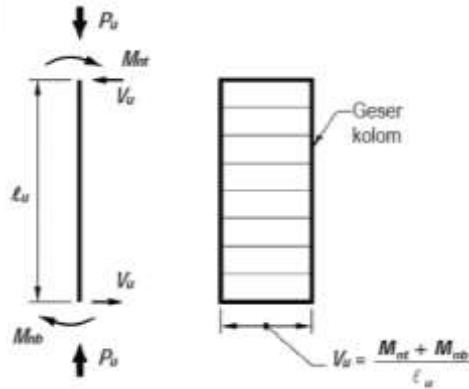
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcacol sebagai berikut :



Gambar 4. 50 : Output Gaya Pcacol

$$M_{nt} = 479000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 479000000 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 51 : Lintang rencana untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

M<sub>nt</sub> = Momen nominal atas (top) kolomM<sub>nb</sub> = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{nt}}{\phi} = \frac{479000000}{0,75} = 638666666,67 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{nb}}{\phi} = \frac{479000000}{0,75} = 638666666,67 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \\ &= \frac{638666666,67 + 638666666,67}{4000} \\ &= 319333,33 \text{ N} \end{aligned}$$

- Syarat Kuat Tekan Beton (f<sub>c</sub>'):  
Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa  
(SNI 2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq \frac{25}{3} \text{ N/mm}^2$$

$$5,48 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- Kekuatan geser pada beton :

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \left[ 1 + \frac{3473726,80 \text{ N}}{14 \times 250000 \text{ mm}^2} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 435,5$$

$$= 403984,40 \text{ N}$$

***SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.2***

$$\phi V_c = 0,75 \times 403984,40 \text{ N} = 302988,30 \text{ N}$$

$$0,5 \times \phi V_c = 0,5 \times 302988,30 \text{ N} = 151494,15 \text{ N}$$

- Kuat geser tulangan geser :

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times 500 \times 435,5$$

$$= 72583,33 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 500 \times 435,5$$

$$= 397555,29 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 500 \times 435,5$$

$$= 795110,58 \text{ N}$$

- Cek kondisi penulangan geser :

Kondisi 1 :

$$V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \rightarrow \text{(Tidak Perlu Tulangan Geser)}$$

$$319333,33 \text{ N} \leq 151494,15 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2 :

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tulangan Geser Minimum})$$

$$151494,15 \text{ N} \leq 319333,33 \text{ N} \geq 302988,30 \text{ N} (\text{tidak memenuhi})$$

Kondisi 3 :

$$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow (\text{Perlu Geser Minimum})$$

$$302988,30 \text{ N} \leq 319333,33 \text{ N} \geq 357425,80 \text{ N} (\text{memenuhi})$$

Kondisi 4 :

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

$$357425,80 \text{ N} \leq 319333,33 \text{ N} \leq 601154,77 \text{ N} (\text{tidak memenuhi})$$

Kondisi 5 :

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2 \cdot V_{s_{\max}}) \rightarrow (\text{Tulangan Geser})$$

$$357425,80 \text{ N} \leq 319333,33 \text{ N} \leq 899321,24 \text{ N} (\text{tidak memenuhi})$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan *Kondisi 3*.

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset 12 \text{ mm}$  dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned} S_{\text{pakai}} &= \frac{A_v \cdot 3 \cdot f_y}{b_w} \\ &= \frac{226,19 \text{ mm}^2 \cdot 2 \cdot 240}{500 \text{ N}} \\ &= 326 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 3

Direncanakan  $S_{pakai} = 150 \text{ mm}$

$$S_{pakai} \leq \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} \leq 217,75 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$S_{pakai} \leq 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$

### Cek Persyaratan SPRMM Untuk Kekuatan Geser Kolom

1). Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $L_o$  dari muka hubungan balok-kolom  $S_o$ . Spasi  $S_o$  tersebut tidak boleh melebihi :

a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \times 25 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

b) 24 kali diameter sengkang ikat,

$$S_o \leq 24 \times \emptyset \text{sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 12 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 288 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,

$$S_o \leq 1/2 \times b_w$$

$$150 \text{ mm} \leq 1/2 \times 500 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

d)  $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka, dipakai  $S_o$  sebesar  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$ .

Direncanakan  $L_o = 600 \text{ mm}$

Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

a) Seperenam tinggi bersih kolom,

$$L_o > \frac{1}{6} \times (4000 - 600)$$

$$L_o > \frac{1}{6} \times 3500$$

$$L_o > 567 \text{ mm}$$

b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$L_o > 500 \text{ mm}$$

c)  $L_o > 450 \text{ mm}$

Maka dipakai  $L_o$  sebesar 600 mm

Sehingga dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$  sejarak 600 mm dari muka hubungan balok kolom.

2). Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok kolom.

3). Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$ . Maka pada daerah setelah sejarak  $L_o = 600 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$ .

#### 4.2.3.4.3 Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1**, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 25 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 710 mm

#### 4.2.3.4 Panjang penyaluran tulangan kolom

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3**, panjang penyaluran untuk tulangan D28 harus diambil sebesar :

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_o \Psi_s}{\left(\frac{c+kt_r}{d_b}\right)} \right) \cdot d_b$$

$$l_d = \left( \frac{400 \text{ MPa}}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ MPa}}} \frac{1,3 \times 1 \times 1}{\left(\frac{46+0}{25 \text{ mm}}\right)} \right) \cdot 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 1172,66 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$$

Tabel 11 : Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe kolom	Penulangan	
Kolom Lantai 1 50/50	Lentur	16D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 2 50/50	Lentur	16D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 3 50/50	Lentur	12D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 4 50/50	Lentur	12D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 5 50/50	Lentur	12D25
	Geser	Ø12 – 150

#### 4.2.4 Perhitungan Stuktur Bawah

##### 4.2.4.1 Perhitungan Tulangan Sloof

Perhitungan tulangan sloof S1 melintang (40×60)cm AS elevasi ± 0 m. Berikut ini adalah data perencanaan sloof berdasarkan gambar denah basement, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

Data Perencanaan sloof:

Tipe sloof	: S1 Melintang
Bentang balok	: 8000 mm
Dimensi sloof (b sloof)	: 400 mm
Dimensi sloof (h sloof)	: 600 mm
Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )	: $30 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ )	: $400 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Geser ( $f_{yv}$ )	: $240 \text{ N/mm}^2$
Kuat Leleh Tul. Puntir ( $f_{yt}$ )	: $400 \text{ N/mm}^2$
Diameter Tulangan Lentur	: D 19
Diameter Tulangan Geser	: $\emptyset 10$
Diameter Tulangan Puntir	: $\emptyset 19$
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm

*(SNI 2847:2013, Pasal 7.6.1)*

Tebal selimut beton (t decking) : 50 mm

*(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))*

Faktor  $\beta_1$  : 0,85

*(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7.3)*

Faktor reduksi kekuatan lentur : 0,9

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

Faktor reduksi kekuatan puntir : 0,75

Maka, tinggi efektif sloof:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 600 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 19 \text{ mm} \\
 &= 541 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= h - d \\
 &= 600 \text{ mm} - 541 \text{ mm} = 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



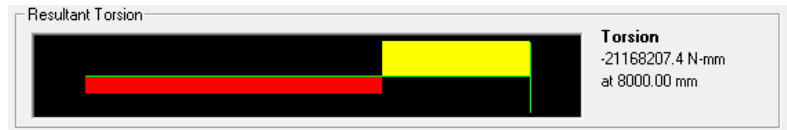
### Hasil output dan diagram dari analisa SAP 2000

Untuk perhitungan tulangan puntir dicari frame pada SAP 2000 dengan momen paling besar. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

#### Hasil Output Torsi

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3-X,0.3-Y)+L$

Momen Puntir : 2168207,4 Nmm



Gambar 4. 52 : Hasil output SAP 2000 torsi sloof

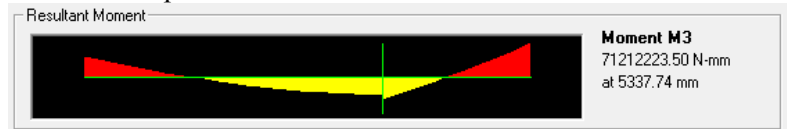
#### Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi :  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3-X,0.3-Y)+L$

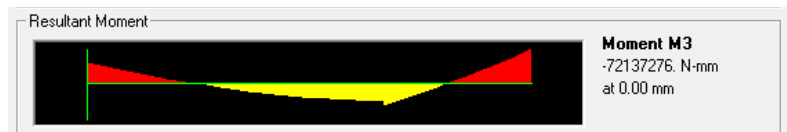
Momen Lapangan : 71212223,50 Nmm

Momen Tumpuan Kiri : 72137276 Nmm

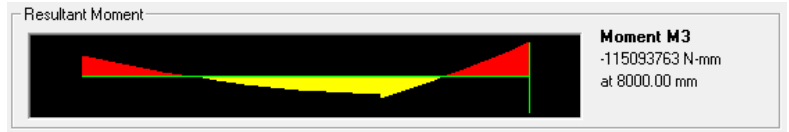
Momen Rumpuan Kanan : 115093763 Nmm



Gambar 4. 53 : Hasil output SAP 2000 lapangan sloof



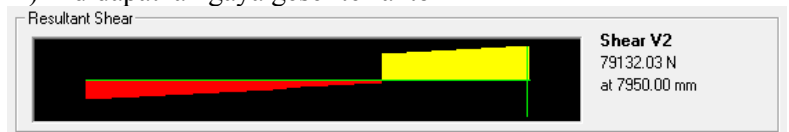
Gambar 4. 54 : Hasil output SAP 2000 tumpuan kiri sloof



Gambar 4. 55 : Hasil output SAP 2000 tumpuan kanan sloof

### Hasil Output Diagram Gaya Geser

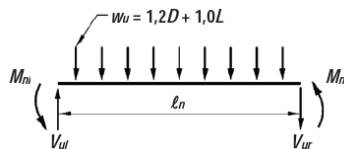
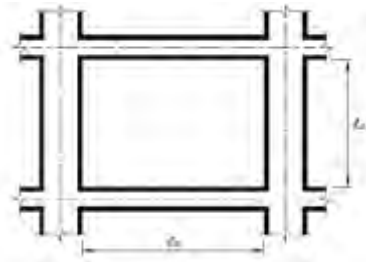
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi  $(1,2D+0,2Sds)D+(1.3-X,0.3-Y)+L$  didapatkan gaya geser terfaktor

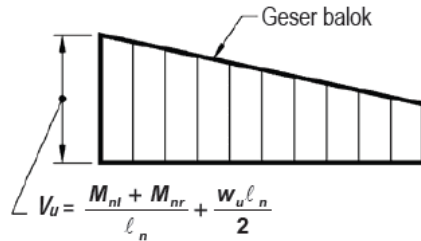


Gambar 4. 56 : Hasil output SAP 2000 gaya geser sloof

$V_u = 79132,03 \text{ N}$  ( $V_u$  diambil tepat pada muka kolom sejauh 50mm)

Ketentuan perhitungan tulangan balok menggunakan metode SRPMM dihitung berdasarkan SNI 2847:2013





Gambar 4. 57 : Gaya Lintang Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran sloof yang dipakai = 50/70  
Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$= 400\text{mm} \times 600\text{mm} = 240000 \text{ mm}^2$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$= 2 \times (400\text{mm} + 600\text{mm}) = 2000 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$= (400\text{mm} - 2 \times 50\text{mm} - 10\text{mm}) \times (600\text{mm} - 2 \times 50\text{mm} - 10\text{mm})$$

$$= 134400 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times [(400 - 2 \times 50\text{mm} - 10\text{mm}) \\
 &\quad + (600\text{mm} - 2 \times 50\text{mm} \\
 &\quad - 10\text{mm}) \\
 &= 1520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan output SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar

#### Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: (1,2D+0,2Sds)D+(1.3-X,0.3-Y)+L

$$T_u = 21168207,4 \text{ Nmm}$$

#### Momen Puntir Nominal

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = \frac{21168207,4 \text{ Nmm}}{0,75} = 28224276,53 \text{ Nmm}$$

#### Geser Ultimate

Akibat kombinasi: (1,2D+0,2Sds)D+(1.3-X,0.3-Y)+LPengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari

$$T_{u_{\min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a)})$$

$$T_{u_{\min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 T_{u_{\min}} &= 0,75 \times 0,083 \\
 &\quad \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{(240000 \text{ mm}^2)^2}{2000 \text{ mm}} \right) \\
 &= 9819570,011 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u\min}$  maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u\min}$  maka memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 9819570 \text{ Nmm} < T_{u\min} = 21168207,4 \text{ Nmm}$$

(memerlukan tulangan puntir)

### ❖ Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan punter sesuai dengan (*SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7*) direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \emptyset$$

Dengan  $A_t/s$  dihitung sesuai dengan (*SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6*) berasal dari persamaan berikut :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt} \cot \emptyset}$$

Maka :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \cot \emptyset}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{22052468,93 \text{ Nmm}}{2 \times 114240 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Nmm} \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0.31 \text{ mm}$$

Sehingga Tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \emptyset$$

$$A_l = 0.31 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \cot^2 45$$

$$A_l = 469,42 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

$$0,31 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 400 \text{ mm}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$0,31 \text{ mm} \geq 0,175 \text{ mm}$$

Maka nilai  $A_t/s$  diambil = 0.175 mm

Chek nilai  $A_l$  min dengan persamaan :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times \phi \times \frac{F_y}{F_y}$$

Maka nilai  $A_{lmin}$  :

$$\left( \frac{0,42 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 240000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 0,175 \text{ mm} \right) \times 1520 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{lmin} = 1114,26 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan  $A_l$  dengan 2 kondisi yakni

$$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}} \text{ Maka menggunakan } A_{l\text{min}}$$

$$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}} \text{ Maka menggunakan } A_{l\text{perlu}}$$

Maka ;

$$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}}$$

$$469,42 \text{ mm}^2 \leq 1114,26 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai  $A_l$  min sebesar 1114,26 mm<sup>2</sup>

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1114,26 \text{ mm}^2}{4} = 278,57 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi pada setiap sisinya :

- Pada sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Untuk sisi samping balok mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $0,5 \times A_l$ , sehingga  $A_l$  pada sisi samping balok adalah  $557,13 \text{ mm}^2$  direncanakan tulangan diameter 19 mm maka jumlah tulangan puntirnya adalah :

$$n = \frac{A_l}{\text{Luas tulangan}}$$

$$n = \frac{557,13 \text{ mm}^2}{283,64 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,96 \approx 2 \text{ Buah}$$

Kontrol  $A_l \text{ pasang} > A_l \text{ perlu}$

$$A_l \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{Luasan D puntir}$$

$$= 2 \times (0,25 \times 22/7 \times (19 \text{ mm})^2)$$

$$= 567,29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka } = A_l \text{ pasang} > A_l \text{ perlu}$$

$$= 567,29 \text{ mm}^2 > 557,13 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga tulangan puntir ditumpuan kiri, kanan dan lapangan dipasang sebesar **2 D 19**.

### Perhitungan Tulangan Lentur

#### Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 530,5 \text{ mm} = 318,3 \text{ mm}$$

#### Garis Netral Maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 318,3 \text{ mm}$$

$$= 238,73 \text{ mm}$$

#### Garis Netral Minimum

$$X_{min} = d'$$

$$= 69,5 \text{ mm}$$

#### Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

#### Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana} \\
 &= 0,85 \times 30 \frac{N}{mm^2} \times 600mm \times 0,85 \times 150mm \\
 &= 1300500 N
 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \frac{N}{mm^2} \times 600mm \times 0,85 \times 150mm}{400 \frac{N}{mm^2}} \\
 &= 3251,25 mm^2
 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 3251,25 mm^2 \times 400 \frac{N}{mm^2} \\
 &\quad \times \left( 530,5 mm - \frac{0,85 \times 150mm}{2} \right) \\
 &= 607008375 Nmm
 \end{aligned}$$

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
 $(1,2D+0,2Sds)D+(1,3-X,0,3-Y)+L$

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 115093763 Nmm$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\
 &= \frac{115093763 Nmm}{0,9} \\
 &= 127881958,9 Nmm
 \end{aligned}$$



### Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 115093763 \text{ Nmm} - 607008375 \text{ Nmm} \\ &= -47126416,11 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{ns} = -47126416,11 \text{ Nmm} \leq 0$$

(tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{115093763 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (531 \text{ mm})^2} = 1,136 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \\ \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,136}{400 \frac{N}{mm^2}}} \right) \\ &= 0,0029\end{aligned}$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0035 < 0,0029 < 0,0244$  (tidak memenuhi) maka ditambah 30 % dari  $\rho$  perlu.

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 1,3 \times 0,0029 \times 400 \text{ mm} \times 531 \text{ mm} \\ &= 801,72 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,643 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top), karena 2D 19 tulangan puntir maka  $Al/4 = 278,57$ .

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{Al}{4} \\ &= 801,72 \text{ mm}^2 + 278,57 \\ &= 1080,28 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\ &= \frac{1080,28 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2} \\ &= 3,809 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 4 \times 283,643 \text{ mm}^2 \\
 &= 1134,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\text{As pasang} = 1143,57 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1080,28 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan tulangan perlu tekan sisi bawah balok (bottom). tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1**, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $\text{As}'$  adalah :

$$\text{As}' = 0,3 \times \text{As}$$

$$\text{As}' = 0,3 \times 1143,57 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}' = 340,37 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 19 mm :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As}'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}} \\
 n &= \frac{340,37 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2} \\
 n &= 1,2 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

*Kontrol*

$$\text{As}' \text{ pasang} = 567,29 \text{ mm}^2 > \text{As}' \text{ perlu} = 340,37 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19.

**Kontrol Tulangan Tarik**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (5 \times 19\text{mm})}{4 - 1} \\
 &= 68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 68 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

**Kontrol Tulangan Tekan**

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 19 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 242 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 242 \text{ mm} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur sloff (40/60) untuk daerah tumpuan kanan bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ \text{(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)}$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 4D19 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{mm})^2 \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D19 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{mm})^2 \\ &= 567,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 567,29 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$402,29 \text{ mm}^2 \geq 378,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga, pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D19

Tulangan tekan : 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{\text{pakai}}} \text{ tulangan tarik } 4D19 = 1134,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1134,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}} \\ &= 44,49 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 44,49 \text{ mm} \\ &= 453798 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= A_{s_{\text{pakai}}} \times f_y \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 453828 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left( 453798 \text{ N} \times \left( 531 \text{ mm} - \frac{44,49 \text{ mm}}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (453828 \text{ N} \\
 &\quad \times (531 \text{ mm} - 70 \text{ mm})) \\
 &= 440086709,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 Mn \text{ pasang} &\geq Mu \text{ perlu} \\
 440086709,5 \text{ Nmm} &> 127881958,89 \text{ Nmm} \\
 (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jadi, penulangan lentur untuk sloof untuk daerah tumpuan kanan bentang 8 m adalah sebagai berikut:

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 5D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19

### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:  
(1,2D+0,2Sds)D+(1,3-0,3-Y)+L

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 7213726 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 7213726 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{7213726 \text{ Nmm}}{0.9}$$

$$Mn = 80152528,89 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Maka :

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$M_{ns} = 8015258,89 \text{ Nmm} - 607008375 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -526855846,11 \text{ Nmm}$$

Sehingga  $M_{ns} \leq 0$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan, dan untuk analisa selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{8015258,89 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (531 \text{ mm})^2} = 0,712 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,712}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 < 0,0058 < 0,0244 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,0058 \times 400\text{mm} \times 531 \text{ mm} \\ &= 477,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (19\text{mm})^2 \\ &= 283,643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

***Jumlah tulangan pasang***

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= 1021,27 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\ &= \frac{1021,27\text{mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2} \\ &= 3,601\text{buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\ &= 4 \times 283,643 \text{ mm}^2 \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

***Kontrol***

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 1134,57\text{mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = \\ &1021,27 \text{ mm}^2 \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan sisi bawah balok (bottom). sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1***, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ A_s' &= 0,3 \times 1134,57\text{mm}^2 \\ A_s' &= 340,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 19 mm :

$$n = \frac{As'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{340,37 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,2 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 567,29 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 340,37 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19.

### ***Kontrol Tulangan Tarik***

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 19 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$= 68 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 68 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

### ***Kontrol Tulangan Tekan***

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 19\text{mm})}{2 - 1} = 242\text{mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 242\text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25\text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan sloof untuk daerah tumpuan kiri bentang 8 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 4\text{D19} \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{mm})^2 \\ &= 1134,57\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2\text{D19} \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{mm})^2 \\ &= 567,29\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ 567,29\text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1134,57\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$567,29\text{ mm}^2 \geq 378,19\text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D19

Tulangan tekan : 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$A_{s_{pakai}}$  tulangan tarik 4D16 = 1134,57 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{1134,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}}$$

$$= 44,49 \text{ mm}$$

$$= 321828 \text{ N}$$

$$M_n = 220675731,89 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$

$$220675731,89 \text{ Nmm} > 801525528 \text{ Nmm}$$

(Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof untuk daerah tumpuan kiri bentang 8 m

Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19. Akan tetapi untuk pelaksanaan penulangan disamakan dengan tumpuan kanan balok untuk memudahkan pelaksanaan penulangan.

### Daerah Lapangan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:

(1,2+0,23SDs)D+1L+0,39Ex+1,3Ey

$$M_u \text{ lapangan} = 71212223,5 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$M_n = \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi}$$

$$= \frac{71212223,5 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 79124692,78 \text{ Nmm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 79124692,78 \text{ Nmm} - 607008375 \text{ Nmm} \\ &= -527883682,22 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} = -527883682,22 \text{ Nmm} \leq 0$  (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{79124692,78 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (531 \text{ mm})^2} = 0,7 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ N/mm}^2} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ N/mm}^2} \right) \\ &= 0,0325 \\ \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)} \\ &= 0,75 \times 0,0325 = 0,0244 \\ \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ N/mm}^2} = 0,0035 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 15,69 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,7}{400 \frac{N}{mm^2}}} \right)$$

$$= 0,0018$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$   
 $0,0035 < 0,0018 < 0,0244$  (tidak memenuhi)  
 Maka ditambah dengan 30 % dari  $\rho$  perlu.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{pakai} \times b \times d$$

$$= 1,3 \times 0,0018 \times 400 \text{ mm} \times 531 \text{ mm}$$

$$= 491,61 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2$$

$$= 283,643 \text{ mm}^2$$

### ***Jumlah tulangan pasang***

Luasan tulangan perlu tarik

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s$$

$$= 1021,27 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}}$$

$$= \frac{1021,27 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$= 3,60 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \text{Luasan tulangan lentur}$$

$$= 4 \times 283,64 \text{ mm}^2$$

$$= 1134,57 \text{ mm}^2$$

### ***Kontrol***

$$A_{s \text{ pasang}} = 1134,57 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 1021,27 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan tulangan perlu tekan). Karena memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013***

**pasal 21.3.4.1**, luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik maka  $A_s'$  adalah :

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$A_s' = 0,3 \times 1134,57 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 340,37$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) yang direncanakan dengan diameter 19 mm :

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luasan Tulangan Lentur}}$$

$$n = \frac{340,37 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,20 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol

$$A_s' \text{ pasang} = 567,29 \text{ mm}^2 > A_s' \text{ perlu} = 340,37 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

### **Kontrol Jarak Spasi Tulangan**

*Syarat:*

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2D19.

### **Kontrol Tulangan Tarik**

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$= \frac{400 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 19 \text{ mm})}{4 - 1}$$

$$= 68 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 68\text{mm} \geq S_{sejajar} = 25\text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

**Kontrol Tulangan Tekan**

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlahtul} \times D_{lentur})}{\text{jumlahtulangan} - 1} \\ &= \frac{400\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (2 \times 19\text{mm})}{2 - 1} \\ &= 242\text{mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 242\text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25\text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur sloof daerah lapangan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan } (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan } (-)}$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= 4D19 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{ mm})^2 \\ &= 1134,577\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= 2D19 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (19\text{ mm})^2 \\ &= 567,29\text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$567,29 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1135 \text{ mm}^2$$

$$567,29 \text{ mm}^2 \geq 378,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

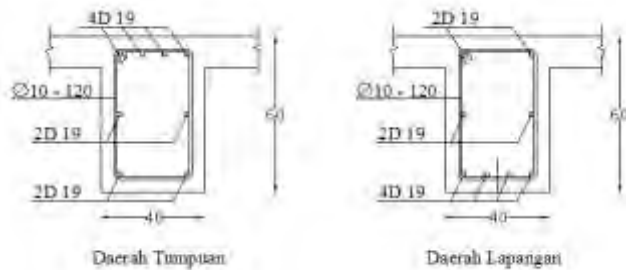
Tulangan tarik : 4D19

Tulangan tekan : 2D19

Maka dipasang tulangan lentur sloof daerah lapangan bentang 4 m :

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D19

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D19



Gambar 4. 58 : penulangan sloof

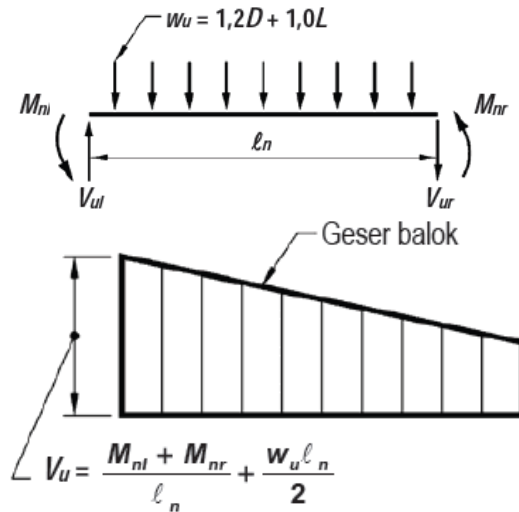
#### a.) Perhitungan Tulangan Geser



Data Perencanaan balok sebagai berikut:

$f_c'$	$= 30 \text{ N/mm}^2$
$f_y$	$= 240 \text{ N/mm}^2$
$\beta_1$	$= 0,85$
$\phi_{\text{reduksi}}$	$= 0,75$
Lebar	$= 500 \text{ mm}$
Tinggi	$= 700 \text{ mm}$
$\phi_{\text{sengkang}}$	$= 12 \text{ mm}$

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada S1 (40/60), didapat:



Gambar 4. 59 : Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM

*Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari*

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))

Dimana:

$V_{u1}$  : gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$l_n$  : panjang balok bersih

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\ &= \frac{230659960,46 \text{ Nmm} + 235708008,80 \text{ Nmm}}{7950 \text{ mm}} \\ &\quad + 79132,03 \text{ N} \\ &= 141314,43 \text{ N} \end{aligned}$$

#### **Kuat Geser Beton**

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal} \\ &\quad \times b \quad \quad \quad \text{11.2.1.1}) \\ &\quad \times d \end{aligned}$$

Dengan:

$\lambda = 1$  , untuk beton normal

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 400 \text{ mm} \\ &\quad \times 531 \text{ mm} \\ &= 197585,43 \text{ N} \end{aligned}$$

#### **Kuat Geser Tulangan Geser**

$$\begin{aligned} V_{s_{min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 400 \text{ mm} \times 531 \text{ mm} \\ &= 70026 \text{ N} \\ V_{s_{max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm}} \\
 &\quad \times 531 \text{ mm} \\
 &= 383548,198 \text{ N} \\
 2V_{s_{max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm} \times 531 \text{ mm}} \\
 &= 76096,392 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### ***Pembagian Wilayah Geser Balok***

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu:

- 1.) Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
- 2.) Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ketengah bentang balok.

### ***Penulangan Geser Balok***

#### ***1. Wilayah Tumpuan***

$$V_u = 141314,43 \text{ N}$$

*Cek Kondisi:*

#### **Kondisi Geser 1**

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$141314,43 \text{ N} \leq 74094,54 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

#### **Kondisi Geser 2**

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$74094,54 \text{ N} \leq 141314,43 \text{ N} \leq 148189,08 \text{ N}$$

(memenuhi)

#### **Kondisi Geser 3**

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$148189,08 \text{ N} \leq 141314,43 \text{ N} \leq 200708,577 \text{ N}$$

(Tidak memenuhi)

#### **Kondisi Geser 4**

$$\phi (V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$200708,577 N \leq 141314,43 N \leq 435850,23 N$$

(tidak memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2.

$$V_{S_{perlu}} = \frac{Vu - \phi V_c}{\phi}$$

$$= \frac{141314,43 N - 213611,775 N}{0,75}$$

$$= 449284,72 N$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset 10\text{mm}$ , maka luasan tulangan geser:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (10\text{mm})^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$S_{perlu} = \frac{Av \times fy \times d}{V_{S_{perlu}}}$$

$$= \frac{66,67\text{mm}^2 \times 240\text{N/mm}^2 \times 10\text{mm}}{449284,72 N}$$

$$= 67 \text{ mm, dipakai } 100\text{mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2

$$S_{max} \leq \frac{d}{4} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$100\text{mm} \leq \frac{531\text{mm}}{4}$$

$$100\text{mm} \leq 132,75 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$100\text{mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 120\text{mm}$ .

## 2. Wilayah Lapangan

$$V_{u2} = 96093,81 \text{ N}$$

Cek Kondisi:

### Kondisi Geser 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$96093,81 \text{ N} \leq 74094,54 \text{ N} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

### Kondisi Geser 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$74094,54 \text{ N} \leq 96093,81 \text{ N} \leq 148189,08 \text{ N}$$

(memenuhi)

### Kondisi Geser 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$148189,08 \text{ N} \leq 96093,81 \text{ N} \leq 200708,577 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

### Kondisi Geser 4

$$\emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$200708,577 \text{ N} \leq 96093,81 \text{ N} \leq 435850,23 \text{ N}$$

(tidak memenuhi)

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser

$$S_{max} \leq \frac{d}{4} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{531 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq 156 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$100 \text{ mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 120 \text{ mm}$ .

#### 4.2.4.2 Perhitungan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi harus mempertimbangkan beberapa faktor, diantaranya adalah kondisi dan struktur tanah yang dapat mempengaruhi daya dukung tanah dalam memikul sesuatu beban yang terjadi. Suatu pondasi yang baik tidak hanya kuat dan aman namun juga harus ditinjau dari segi keamanan dan memungkinkan pelaksanaannya dilapangan.

- **Data Perencanaan**

Kedalam tiang pancang	: 10 m
Diameter tiang pancang	: 0,40 m
Dimensi kolom	: 0,5 m × 0,5 m
Mutu beton pile cap	: 30 Mpa
Mutu baja pile cap	: 400 Mpa
Tebal selimut beton	: 75 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1(a))

$$\text{Luas tiang pancang (Ap)} : \frac{1}{4} \pi \times D^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling penampang tiang (Ast)} : \pi \times D = 1,26 \text{ m}$$

- **Perhitungan Daya Dukung Ijin**

Daya dukung ijin pondasi yang dihitung dari data SPT (*Standart Penetration Test*) menggunakan Metode Meyerhof, sesuai dengan buku “**Desain Pondasi Tahan Gempa**” (*Anugrah Pamungkas & Erny Harianti*). Dengan rumus daya dukung sebagai berikut:

$$Pa = \frac{q_c \cdot A_p}{FK1} + \frac{\sum l_i \cdot f_i}{FK2}$$

Dimana:

Pa = Daya dukung ijin tiang

qc = 20 N, untuk *silt/clay*  
40 N, untuk *sand*

Ap = Luas penampang tiang

Ast = Keliling penampang tiang

li = Panjang segmen tiang yang di tinjau

- fi = Gaya geser pada selimut segmen tiang
- N maksimum 12 ton/m<sup>2</sup>, untuk *clay*
  - N/5 maksimum 10 ton/m<sup>2</sup>, untuk *sand*

FK1, FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

- FK1 = 3
- FK2 = 5

Perhitungan daya dukung tiang berdasar data SPT pada masing-masing kedalaman bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 12 : Daya dukung tiang berdasar data SPT

Depth (m)	Jenis tanah	N SPT	li	qc (t/m <sup>2</sup> )	fi (t/m <sup>2</sup> )	li.fi (t/m)	$\sum li.fi$ (t/m)	Pijin tanah
0	C	0	0	0	0,0	0,0	0	0,00
1	C	4	1	80	4,0	4,0	4	4,36
2	C	5	1	160	8,0	8,0	12	9,72
3	C	14	1	280	12,0	12,0	24	17,76
4	C	20	1	400	12,0	12,0	36	25,80
5	C	40	1	800	12,0	12,0	48	45,57
6	C	50	1	1200	12,0	12,0	60	65,35
7	C	50	1	1000	12,0	12,0	72	59,98
8	C	40	1	800	12,0	12,0	84	54,62
9	C	50	1	1000	12,0	12,0	96	66,02
10	C	60	1	1200	12,0	12,0	108	77,41
11	C	60	1	1200	12,0	12,0	120	80,42
12	C	60	1	1200	12,0	12,0	132	83,44
13	C	60	1	1200	12,0	12,0	144	86,46
14	C	60	1	1200	12,0	12,0	156	89,47
15	C	60	1	1200	12,0	12,0	168	92,49
16	C	60	1	1200	12,0	12,0	180	95,50
17	C	60	1	1200	12,0	12,0	192	98,52
18	C	60	1	1200	12,0	12,0	204	101,54
19	C	60	1	1200	12,0	12,0	216	104,55
20	C	60	1	1200	12,0	12,0	228	107,57
21	C	60	1	1200	12,0	12,0	240	110,58
22	C	60	1	1200	12,0	12,0	252	113,60
23	C	60	1	1200	12,0	12,0	264	116,62
24	C	60	1	1200	12,0	12,0	276	119,63
25	C	60	1	1200	12,0	12,0	288	122,65
26	C	60	1	1200	12,0	12,0	300	125,66
27	C	60	1	1200	12,0	12,0	312	128,68
28	C	60	1	1200	12,0	12,0	324	131,70
29	C	60	1	1200	12,0	12,0	336	134,71
30	C	60	1	1200	12,0	12,0	348	137,73

Kekuatan bahan berdasarkan data tiang pancang dari PT. Wijaya Karya Beton untuk dimensi 400 mm tipe A2 adalah  $\bar{P}$  ijin bahan = 121,10 ton  
 Berat sendiri tiang pancang = 191 Kg/m

Cek persyaratan:

$$\begin{aligned} \bar{P}_t \text{ ijin tanah} &< \bar{P} \text{ ijin bahan} \\ 77,41 \text{ ton} &< 121,10 \text{ ton ( OK )} \end{aligned}$$

#### 4.2.4.2.1 Perhitungan Pondasi Tipe 1

- **Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang**

Diketahui OUTPUT SAP 2000 sebagai berikut:

Akibat Beban Tetap

( 1D+1L)

$$\begin{aligned} P &= 123736 \text{ kg} \\ &= 123,74 \text{ ton} \end{aligned}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)

$$\begin{aligned} P &= 140583,3 \text{ kg} \\ &= 140,58 \text{ ton} \end{aligned}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,7Ex+0,21Ey+0,75L+0,75Lr)

$$\begin{aligned} P &= 135492,1 \text{ kg} \\ &= 135,49 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dipilih P dengan nilai terbesar, sehingga didapatkan nilai  $P_{\max} = 140,58 \text{ ton}$

#### Perencanaan Dimensi Pile Cap

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri pile cap:

$$P_{\max} = 140,58 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin tanah}}} \\ &= \frac{140,58 \text{ ton}}{77,41 \text{ ton}} = 1,82 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 2 buah.



Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam kelompok jarak antar tiang pancang (S):

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S) :

$$2,5 \times D \leq S \leq 3 \times D$$

$$2,5 \times 40 \text{ cm} \leq S \leq 3 \times 40 \text{ cm}$$

$$100 \text{ cm} \leq S \leq 120 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $S = 120 \text{ cm}$

Sedangkan perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap ( $S'$ ) :

$$1,5 \times D \leq S' \leq 2 \times D$$

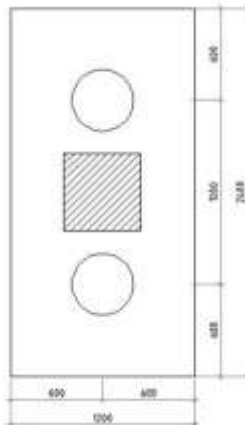
$$1,5 \times 40 \text{ cm} \leq S' \leq 2 \times 40 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq S' \leq 80 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $S' = 60 \text{ cm}$

*(Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2, Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)*

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar pile cap adalah:



Gambar 4. 60 : Penampang Pile Cap Tipe 1

Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditemukan dimensi pile cap:

Perhitungan beban pondasi setelah ditambahkan berat sendiri pile cap dengan tebal pile cap diasumsikan 0,6 m.

$$P_{\max} = 140,58 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 2,4\text{m} \times 1,2\text{m} \times 0,6\text{m}\right) \\ &= 4,15 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\sum_{\Sigma P} P = 144,73 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_{\text{ijin tanah}}}{\sum P} \\ &= \frac{144,73 \text{ ton}}{77,41 \text{ ton}} = 1,87 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jadi, dibutuhkan 2 buah tiang pancang dengan dimensi penampang pile cap (1,2 m × 2,4 m)

- **Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi**

Perhitungan daya dukung pile dalam kelompok haruslah mempertimbangkan efisiensi dari hubungan tersebut:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam 1 baris

n = banyaknya baris

D = Diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang pancang

$\theta$  = arc tg D/S

$$= \text{arc tg } 40/120 = 18,43$$

*(Analisa Desain Pondasi Jilid 2 hal 379,  
Joseph E. Bowles)*

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= 1 - 18,43 \frac{(1-1)2 + (2-1)1}{90 \cdot 2 \cdot 1} \\ &= 0,898 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ijin tanah}} &= \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \\ &= 0,898 \times 77,41 \text{ ton} = 69,481 \text{ ton} \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\bar{P}_{\text{ijin tanah}} < \bar{P}_{\text{ijin bahan}}$$

$$69,481 \text{ ton} < 121,10 \text{ ton} \text{ ( OK )}$$

- **Perhitungan tebal poer**

Reaksi perlawanan tanah ( $q_t$ )

$$q_t = \frac{P_{\text{ijin tanah total}}}{\text{luas poer}}$$

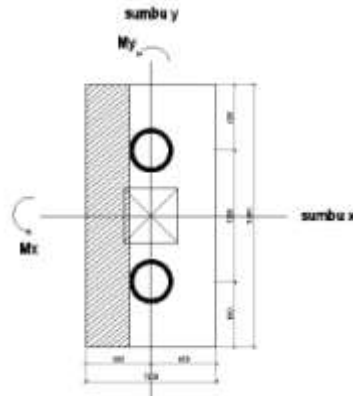
$$= \frac{4 \times 69,481 \text{ ton}}{1,2 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m}}$$

$$= 48,25 \text{ ton/m}^2$$

$$= 0,48 \text{ N/mm}^2$$

Menghitung  $d$  (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai  $d$  terbesar di antara keduanya).

**Perhitungan Geser Satu Arah pada Pile Cap**



Gambar 4. 61 : Gambar bidang kritis pons satu arah

Luasan Tributari  $A_t$  ( $\text{mm}^2$ )

$$A_t = \frac{L_{\text{poer}} - B_{\text{kolom}} - 2 t_{\text{poer}}}{2} \times b_{\text{pile cap}}$$

$$= \frac{2400 \text{ mm} - 500 \text{ mm} - 2d}{2} \times 1200 \text{ mm}$$

$$= (950 \text{ mm} - d) \times 1200 \text{ mm}$$

$$= 1140000 \text{ mm}^2 - 1200 \text{ mm}^2 \cdot d$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= q t \times A_t \\
 &= 0,48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times (1140000 \text{ mm}^2 - 1200 \text{ mm}^2 \cdot d) \\
 &= 547200 - 576 d
 \end{aligned}$$

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton  $V_c$  (N)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times b_w \times d \\
 &\quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)}
 \end{aligned}$$

Syarat:

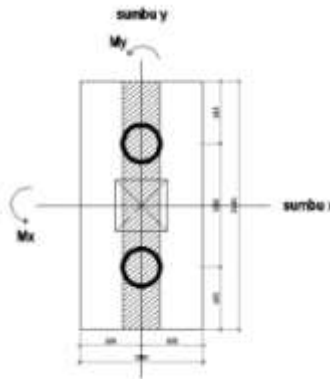
$$V_u \leq \phi V_c$$

$$547200 - 576 d \leq 0,75 \times 0,17 \times \sqrt{30} \times 1200 \times d$$

$$547200 - 576 d \leq 838,01 d$$

$$547200 \leq 838,01 d + 576 d$$

$$d \leq 386,98$$

**Perhitungan Geser Dua Arah pada Pile Cap**

Gambar 4. 5: Gambar bidang kritis pons dua arah

Perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka  $V_c$  harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai  $V_c$  terkecil.

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

Dimana :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$\beta_c = 500/500 = 1$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$\alpha_s = 40$  untuk kolom tengah

$\alpha_s = 30$  untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$  untuk kolom sudut

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a), (b), (c))

Luasan Tributari  $A_t$  (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} A_t &= (l_{\text{pile cap}} \times b_{\text{pile cap}}) - ((h_{\text{kolom}} + t_{\text{pile cap}}) \times (b_{\text{kolom}} + t_{\text{pile cap}})) \\ &= (2400\text{mm} \times 1200\text{mm}) - ((500\text{mm} + d) \times (500\text{mm} + d)) \\ &= 2630000 \text{ mm}^2 - 1000\text{mm} \cdot d - d^2 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$V_u = q_t \times A_t$$

=

$$\begin{aligned} &0,48 \text{ N/mm}^2 \times (2630000\text{mm}^2 - 1000\text{mm} \cdot d - d^2) \\ &= 1262400 - 480 d - 0,48d^2 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$V_c = 0,17 \times \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a))

$$\begin{aligned} &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times (2 \times (500\text{mm} + 500\text{mm}) + 4d) \times d \\ &= 0,17 \times 3 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d = \\ &2,793 \times (2000d + 4 d^2) \end{aligned}$$

$$= 5586,8 \cdot d + 11,17 d^2$$

Cek syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$\begin{aligned} 1262400 - 480 d - 0,48d^2 \\ \leq 0,75 \times (5586,8 \cdot d + 11,17d^2) \\ - 480 d - 0,48d^2 \leq 4190,1d + 8,38d^2 \\ 0 \leq -126400 + 4670,1d + 8,86d^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4670,1 \pm \sqrt{(4670,1)^2 - (4 \times 8,86 \times -126400)}}{2 \times 8,86} \\ &= -263,550 \pm 289,352 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4670,1 - \sqrt{(4670,1)^2 - (4 \times 8,86 \times -126400)}}{2 \times 8,86} \\ &= -263,550 - 289,352 \\ &= -552,902 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4670,1 + \sqrt{(4670,1)^2 - (4 \times 8,86 \times -126400)}}{2 \times 8,86} \\ &= -263,550 + 289,352 \\ &= 25,802 \end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 25,802$

### Persamaan 2

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\ &\quad (SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (b)) \\ &= 0,083 \times \left( \frac{40 \times d}{(2 \times (500 + 500) + 4d)} + 2 \right) \times \sqrt{30} \times (2 \\ &\quad \times (500 + 500) + 4d) \times d \\ &= 0,083 \times \left( \frac{40d}{(2000 + 4d)} + 2 \right) \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,083 \times (40d + 2(2000 + 4d)) \times 5,48 \times d \\
&= 0,083 \times (48d + (4000)) \times 5,48 \times d \\
&= 909,68d + 1,819d^2 \\
&= 1819,36d + 21,83d^2
\end{aligned}$$

Cek syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$\begin{aligned}
&= 1262400 - 480d - 0,48d^2 \leq 0,75(1819,36d + 21,83d^2) \\
&= 1262400 - 480d - 0,48d^2 \leq 1364,52d + 16,37d^2 \\
&0 \leq -1262400 + 1844,52d + 16,85d^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-1844,52 \pm \sqrt{(1844,52)^2 - (4 \times 16,85 \times -1262400)}}{2 \times 16,85} \\
&= -54,733 \pm 279,134
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_1 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-1844,52 - \sqrt{(1844,52)^2 - (4 \times 16,85 \times -1262400)}}{2 \times 16,85} \\
&= -54,733 - 279,134 \\
&= -333,867
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_2 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-1844,52 + \sqrt{(1844,52)^2 - (4 \times 16,85 \times -1262400)}}{2 \times 16,85} \\
&= -54,733 + 279,134 \\
&= 224,401
\end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 224,401$

### Persamaan 3

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (c))

$$\begin{aligned}
&= 0,33 \times \sqrt{30} \times (2 \times (500 + 500) + 4d) \times d \\
&= 0,33 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\
&= 1,8 \times (2000d + 4d^2) \\
&= 3600d + 7,2d^2
\end{aligned}$$

Cek syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1262400 - 480 d - 0,48d^2 \leq 0,75(3600d + 7,2d^2)$$

$$1262400 - 480 d - 0,48d^2 \leq 2700d + 5,4d^2$$

$$0 \leq -1262400 + 3180d + 5,88d^2$$

$$\begin{aligned} d_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-3180 \pm \sqrt{(3180)^2 - (4 \times 5,88 \times -1262400)}}{2 \times 5,88} \\ &= -270,408 \pm 536,483 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-3180 - \sqrt{(3180)^2 - (4 \times 5,88 \times -1262400)}}{2 \times 5,88} \\ &= -270,408 - 536,483 \\ &= -806,891 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-3180 + \sqrt{(3180)^2 - (4 \times 5,88 \times -1262400)}}{2 \times 5,88} \\ &= -270,408 + 536,483 \\ &= 266,075 \end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 266,075$

Maka dipakai  $d = 266,075$  mm

Dipakai  $h$  = tebal selimut + D tul. Poer +

$\frac{1}{2}$  D tul. Pile cap + D rencana

$$= 75 \text{ mm} + 22 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} +$$

$$266,075 \text{ mm}$$

$$= 374,075 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Cek berdasarkan panjang penyaluran tulangan kolom

Panjang sambungan lewatan kolom

$$L_d = 0,071 \times f_y \times d_b$$

(SNI 2847:2013 Pasal 12.16.1)

$$= 0,071 \times 400 \text{ Mpa} \times 25 \text{ mm}$$



$$= 710 \text{ mm}$$

Cek persyaratan:

$$L_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Bengkokan  $90^\circ$  ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas kait.

$$L = 12 \text{ db}$$

$$= 12 \times 25 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$L_d \text{ vertikal} = 710 \text{ mm} - 300 \text{ mm}$$

$$= 410 \text{ mm}$$

Cek :

$$h > L_d$$

$$450 \text{ mm} > 600 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tinggi pile cap 600 mm.

- **Perhitungan Daya Dukung Tiang dalam Kelompok**

Dari output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut:

Akibat Beban Tetap

(1D+1L)

$$P = 123,74 \text{ ton}$$

$$M_x = 1,16 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 0,78 \text{ ton.m}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)

$$P = 140,58 \text{ ton}$$

$$M_x = 9,95 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 1,94 \text{ ton.m}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,7Ex+0,21Ey+0,75L+0,75Lr)

$$P = 135,49 \text{ ton}$$

$$M_x = 1,80 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 8,87 \text{ ton.m}$$

P Akibat Pengaruh Beban Tetap

( 1D+1L)

P = 123,74 ton

Mx = 1,16 ton.m

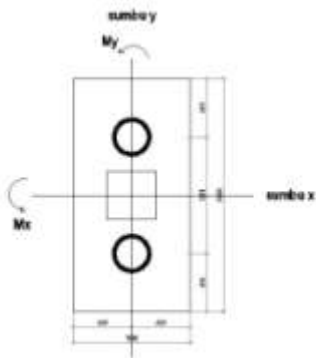
My = 0,78 ton.m

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban tetap adalah sebagai berikut:

Berat Pile Cap =  $\left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 1,2\text{m} \times 2,4\text{m} \times 0,6\text{m}\right)$   
= 4,15 ton

P = 123,74 ton

$\Sigma P = 127,88 \text{ ton}$



Gambar 4. 62 : Gaya Poer dan Pancang

Tabel 13 : Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0	0
X2	0	0
$\Sigma X^2$		0
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,60	0,36
Y2	- 0,60	0,36
$\Sigma Y^2$		0,72

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{123,74 \text{ ton}}{2} + \frac{0,78 \text{ ton} \times 0}{0} + \frac{1,16 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} \\
 &= 64,91 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{123,74 \text{ ton}}{2} + \frac{0,78 \text{ ton} \times 0}{0} - \frac{1,16 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} \\
 &= 62,97 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 64,91 \text{ ton}$

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \\
 64,91 \text{ ton} &\leq 0,898 \times 77,41 \text{ ton} \\
 64,91 \text{ ton} &\leq 69,48 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

#### P Akibat Pengaruh Beban Sementara

$$(D+0,21E_x+0,7E_y+0,75L+0,75L_r)$$

$$P = 140,58 \text{ ton}$$

$$M_x = 9,95 \text{ ton.m}$$

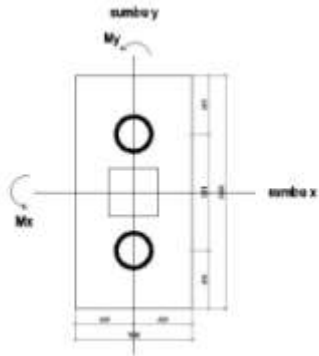
$$M_y = 1,94 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pile Cap} &= \left( 2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 1,2\text{m} \times 2,4\text{m} \times 0,6\text{m} \right) \\
 &= 4,15 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\underline{P = 140,58 \text{ ton}}$$

$$\Sigma P = 144,73 \text{ ton}$$



Gambar 4. 63 : Gaya Poer dan Pancang

Tabel 14 : Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0	0
X2	0	0
ΣX <sup>2</sup>		0
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,60	0,36
Y2	- 0,60	0,36
ΣY <sup>2</sup>		0,72

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\ P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \times X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{140,58 \text{ ton}}{2} + \frac{1,94 \text{ ton} \times 0}{0} + \frac{9,95 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} \\ &= 80,66 \text{ ton} \\ P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{140,58 \text{ ton}}{2} + \frac{1,94 \text{ ton} \times 0}{0} - \frac{9,95 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} \\ &= 64,07 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 80,66$  ton

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned} P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\ 80,66 \text{ ton} &\leq 0,898 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\ 80,66 \text{ ton} &\leq 104,22 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### P Akibat Pengaruh Beban Sementara

$$(D+0,7E_x+0,21E_y+0,75L+0,75L_r)$$

$$P = 135,49 \text{ ton}$$

$$M_x = 1,80 \text{ ton.m}$$

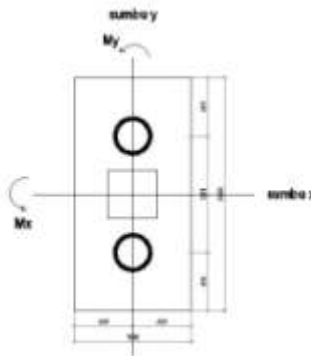
$$M_y = 8,87 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 1,2\text{m} \times 2,4\text{m} \times 0,6\text{m}\right) \\ &= 4,15 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\underline{P = 135,49 \text{ ton}}$$

$$\Sigma P = 139,64 \text{ ton}$$



Gambar 4. 64 : Gaya Poer dan Pancang

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0	0
X2	0	0
$\sum X^2$		0
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,60	0,36
Y2	- 0,60	0,36
$\sum Y^2$		0,72

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\sum y^2} \\
 P_1 &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2} + \frac{M_x \times Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{135,49 \text{ ton}}{2} + \frac{8,87 \text{ ton} \times 0}{0} + \frac{1,80 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} \\
 &= 71,32 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{135,49 \text{ ton}}{2} + \frac{8,87 \text{ ton} \times 0}{0} - \frac{1,80 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} \\
 &= 68,32 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 71,32 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\
 71,32 \text{ ton} &\leq 0,898 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\
 71,32 \text{ ton} &\leq 104,22 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

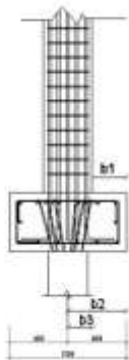
- **Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap**

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban semetara lebih besar daripada P beban tetap.

**Data Perencanaan**

Dimensi poer	= 1,2 m x 2,4 m x 0,60 m
Jumlah tiang pancang	= 2 buah
Dimensi kolom	= 500 mm x 500 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
Diameter tulangan utama	= 22 mm
Selimut beton (p)	= 75 mm
h	= 600 mm
$d_x = 600 - 75 - (1/2 \times 22)$	= 514 mm
$d_y = 600 - 75 - 22 - (1/2 \times 22)$	= 492 mm
$\phi$	= 0,9
$\beta$	= 0,85

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :  
Pouer arah X :



$$b1 = 350 \text{ mm}$$

$$b2 = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 250 \text{ mm}$$

Poer arah Y :

$$b1 = 950 \text{ mm}$$

$$b2 = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 350 \text{ mm}$$

### **Penulangan Poer Arah X**

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 1,2 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,35 \text{ m} \\ &= 604,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

P max beban tiang

$$\text{Maka diambil } P = 71317,04 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= -Mq \\ &= -q_u \times \frac{1}{2} b1 \\ &= -691,2 \text{ kg} \times \frac{1}{2} \cdot 0,35 \text{ m} \\ &= 105,84 \text{ kgm} = 1058400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{1058400}{0,9} \\ &= 1176000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{1176000 \text{ Nmm}}{(1200 \text{ mm} \cdot (514 \text{ mm})^2)} = 0,0037 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \left( \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c')}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \right) \\ &= 0,033 \end{aligned}$$



$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,024$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{(1 - (2m \cdot R_n))}{f_y}\right)} \\ &= \frac{1}{15,69} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{(1 - ((2 \cdot 15,69) \cdot 0,0037))}{400 \text{ Mpa}}\right)} \\ &= 0,0000093\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0000093 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1200 \text{ mm} \cdot 515,5 \text{ mm}$$

$$= 2158,8 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1200 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D16

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{\text{As}}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{2158,8 \text{ mm}^2}$$

$$= 223,53 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka tulangan yang digunakan tumpuan X adalah D16 – 200 mm

$$\text{As pakai} = \frac{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{\text{Spakai}}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (16 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{200 \text{ mm}^2}$$

$$= 2412,74 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$\text{As pakai} > \text{As perlu}$$

$$2412,74 \text{ mm}^2 > 2158,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

**Penulangan Poer Arah Y**

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 1,2 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,95 \text{ m} \\ &= 1641,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

P max beban tiang

Maka diambil  $P = 80659,35 \text{ kg}$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= (-M_q + M_p) \\ &= [(-q_u \times \frac{1}{2} b_1) + (P \times b_3)] \\ &= [-(779,76 \text{ kgm}) + (28231 \text{ kgm})] \\ &= 27451,011 \text{ kgm} = 2745101100 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{2745101100}{0.9} \\ &= 305011243,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{305011243,5 \text{ Nmm}}{(2400 \text{ mm} \cdot (492 \text{ mm})^2)} = 0,52$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \left( \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c')}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \right) \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,024$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - (2m \cdot R_n))}{f_y} \right)} \\ &= \frac{1}{15,69} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - ((2 \cdot 15,69) \cdot 0,52))}{400 \text{ Mpa}} \right)} \\ &= 0,0013 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0013 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 492 \text{ mm} \\ &= 4132,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1200 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

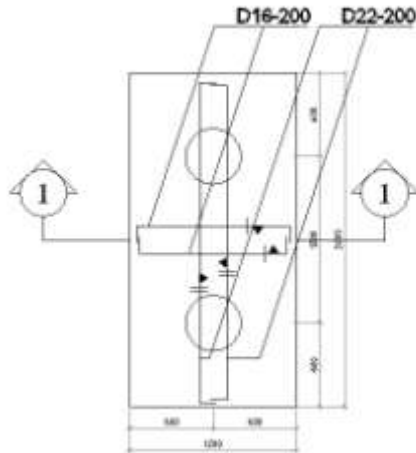
$$\begin{aligned} S &= \frac{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{A_s} \\ &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{4132,8 \text{ mm}^2} \\ &= 220,75 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka tulangan yang digunakan tumpuan Y adalah D22 – 200 mm

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{200 \text{ mm}} \\ &= 4561,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ll} A_s \text{ pakai} & > \quad A_s \text{ perlu} \\ 4561,59 \text{ mm}^2 & > \quad 4132,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi}) \end{array}$$



Gambar 4. 65 : detail penulangan pile cap tipe 1

#### 4.2.4.2.2 Perhitungan Pondasi Tipe 2

- **Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang**

Diketahui OUTPUT SAP 2000 sebagai berikut:

Akibat Beban Tetap

( 1D+1L)

$$P = 277940,49 \text{ kg}$$

$$= 277,94 \text{ ton}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)

$$P = 280980,3 \text{ kg}$$

$$= 280,98 \text{ ton}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,7Ex+0,21Ey+0,75L+0,75Lr)

$$P = 274864,2 \text{ kg}$$

$$= 274,86 \text{ ton}$$

Dipilih P dengan nilai terbesar, sehingga didapatkan nilai P max = 280,98 ton

### Perencanaan Dimensi Pile Cap

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri pile cap:

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 280,98 \text{ ton} \\
 n &= \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin tanah}}} \\
 &= \frac{280,98 \text{ ton}}{77,41 \text{ ton}} = 3,63 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 4 buah.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam kelompok jarak antar tiang pancang (S):

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S) :

$$\begin{aligned}
 2,5 \times D &\leq S \leq 3 \times D \\
 2,5 \times 40 \text{ cm} &\leq S \leq 3 \times 40 \text{ cm} \\
 100 \text{ cm} &\leq S \leq 120 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $S = 120 \text{ cm}$

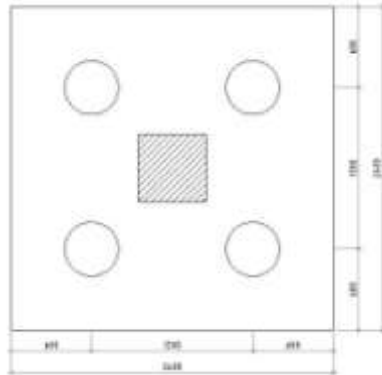
Sedangkan perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap (S') :

$$\begin{aligned}
 1,5 \times D &\leq S' \leq 2 \times D \\
 1,5 \times 40 \text{ cm} &\leq S' \leq 2 \times 40 \text{ cm} \\
 60 \text{ cm} &\leq S' \leq 80 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $S' = 60 \text{ cm}$

***(Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2,  
Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)***

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar pile cap adalah:



Gambar 4. 66 : Penampang Pile Cap Tipe 2

Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditemukan dimensi pile cap:

Perhitungan beban pondasi setelah ditambahkan berat sendiri pile cap dengan tebal pile cap diasumsikan 60 cm.

$$P_{\max} = 280,98 \text{ ton}$$

$$\text{Berat Pile Cap} = \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 2,4\text{m} \times 2,4\text{m} \times 0,6\text{m}\right)$$

$$= 8,29 \text{ ton}$$

$$\sum P = 289,27 \text{ ton}$$

$$n = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}}$$

$$= \frac{289,27 \text{ ton}}{77,41 \text{ ton}} = 3,74 \approx 4 \text{ buah}$$

Jadi, dibutuhkan 4 buah tiang pancang dengan dimensi penampang pile cap (2,4 m × 2,4 m)

- **Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi**

perhitungan daya dukung pile dalam kelompok haruslah mempertimbangkan efisiensi dari hubungan tersebut:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam 1 baris

n = banyaknya baris

D = Diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang pancang

$\theta$  = arc tg D/S

$$= \text{arc tg } 40/120 = 18,43$$

**(Analisa Desain Pondasi Jilid 2 hal 379,  
Joseph E. Bowles)**

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= 1 - 18,43 \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \\ &= 0,795 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ijin tanah}} &= \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \\ &= 0,795 \times 77,41 \text{ ton} = 61,553 \text{ ton} \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ijin tanah}} &< \bar{P}_{\text{ijin bahan}} \\ 61,553 \text{ ton} &< 121,10 \text{ ton ( OK )} \end{aligned}$$

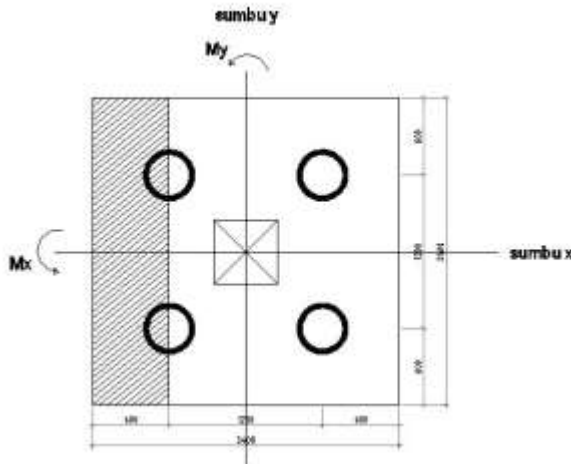
- **Perhitungan tebal poer**

Reaksi perlawanan tanah ( $q_t$ )

$$\begin{aligned} q_t &= \frac{P_{\text{ijin tanah total}}}{\text{luasan poer}} \\ &= \frac{4 \times 61,553 \text{ ton}}{2,4 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m}} \\ &= 42,75 \text{ ton/m}^2 \\ &= 0,43 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya).

### **Perhitungan Geser Satu Arah pada Pile Cap**



Gambar 4. 67 : Gambar bidang kritis pons satu arah  
Luasan Tributari  $A_t$  ( $\text{mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{L_{\text{poer}} - B_{\text{kolom}} - 2 t_{\text{poer}}}{2} \times b_{\text{pile cap}} \\
 &= \frac{2400 \text{ mm} - 500 \text{ mm} - 2d}{2} \times 2400 \text{ mm} \\
 &= (950 \text{ mm} - d) \times 2400 \text{ mm} \\
 &= 2280000 \text{ mm}^2 - 2400 \text{ mm}^2 \cdot d
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$\begin{aligned}
 V_u &= q_t \times A_t \\
 &= 0,43 \text{ N/mm}^2 \times (2280000 \text{ mm}^2 - 2400 \text{ mm}^2 \cdot d) \\
 &= 974588,8 - 1026 d
 \end{aligned}$$

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton  $V_c$  (N)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times b_w \times d$$

*(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)*

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$974588,8 - 1025,9 d \leq 0,75 \times 0,17 \times \sqrt{30} \times 2400 \times d$$

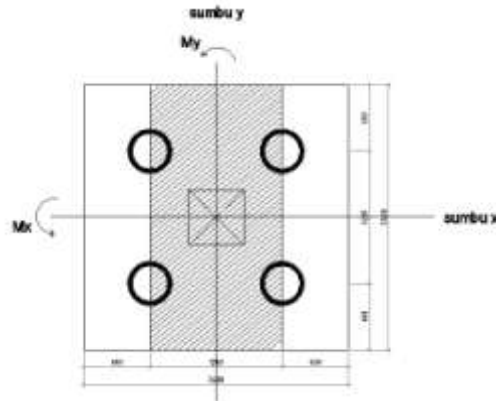
$$974588,8 - 1025,9 d \leq 1676,03 d$$

$$974588,8 \leq 1676,03 d + 1025,9 d$$

$$d \leq 360,7$$



### Perhitungan Geser Dua Arah pada Pile Cap



Gambar 4. 68 : Gambar bidang kritis pons dua arah

Perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka  $V_c$  harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai  $V_c$  terkecil.

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 400/400 = 1$$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$\alpha_s$  = 40 untuk kolom tengah

$\alpha_s$  = 30 untuk kolom tepi

$\alpha_s$  = 20 untuk kolom sudut

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a), (b), (c))

Luasan Tributari At (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned}
 At &= (l_{\text{pile cap}} \times b_{\text{pile cap}}) - ((h_{\text{kolom}} + t_{\text{pile cap}}) \times (b_{\text{kolom}} + t_{\text{pile cap}})) \\
 &= (2400\text{mm} \times 2400\text{mm}) - ((500\text{mm} + d) \times (500\text{mm} + d)) \\
 &= 5510000 \text{ mm}^2 - 1000\text{mm} \cdot d - d^2
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$\begin{aligned}
 Vu &= qt \times At \\
 &= 0,43 \text{ N/mm}^2 \times (5510000\text{mm}^2 - 1000\text{mm} \cdot d - d^2) \\
 &= 2369300 - 430 d - 0,43d^2
 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$\begin{aligned}
 Vc &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
 &\quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a)}) \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times (2 \times (500\text{mm} + 500\text{mm}) + 4d) \times d \\
 &= 0,17 \times 3 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\
 &= 2,793 \times (2000d + 4 d^2) \\
 &= 5586,8 \cdot d + 11,17 d^2
 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$2369300 - 430 d - 0,43d^2 \leq 0,75 \times (5586,8 \cdot d + 11,17d^2)$$

$$2369300 - 430d - 0,43d^2 \leq 4190,1d + 8,38d^2$$

$$0 \leq 2369300 + 4620,1d + 8,81d^2$$

$$\begin{aligned}
 d_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-4620,1 \pm \sqrt{(4620,1)^2 - (4 \times 8,81 \times -2369300)}}{2 \times 8,81} \\
 &= -262,208 \pm 581,107
 \end{aligned}$$

$$d_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{-4620,1 - \sqrt{(4620,1)^2 - (4 \times 8,81 \times -2369300)}}{2 \times 8,81} \\
&= -262,208 - 581,107 \\
&= -843,315 \\
d_2 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-4620,1 + \sqrt{(4620,1)^2 - (4 \times 8,81 \times -2369300)}}{2 \times 8,81} \\
&= -262,208 + 581,107 \\
&= 318,899
\end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 318.899$

### Persamaan 2

$$\begin{aligned}
V_c &= 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
&\quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (b))} \\
&= 0,083 \times \left( \frac{40 \times d}{(2 \times (500 + 500) + 4d)} + 2 \right) \times \sqrt{30} \times (2 \\
&\quad \times (500 + 500) + 4d) \times d \\
&= 0,083 \times \left( \frac{40d}{(2000 + 4d)} + 2 \right) \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\
&= 0,083 \times (40d + 2(2000 + 4d)) \times 5,48 \times d \\
&= 0,083 \times (48d + (4000)) \times 5,48 \times d \\
&= 909,68d + 1,819d^2 \\
&= 1819,36d + 21,83d^2
\end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\begin{aligned}
&\quad V_u \leq \phi V_c \\
&= 2369300 - 430 d - 0,43d^2 \leq 0,75(1819,36d + 21,83d^2) \\
&= 2369300 - 430 d - 0,43d^2 \leq 1364,52d + 16,37d^2 \\
&\quad 0 \leq -2369300 + 1794,52d + 16,8d^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-1794,52 \pm \sqrt{(1794,52)^2 - (4 \times 16,8 \times -2369300)}}{2 \times 16,8} \\
&= -53,408 \pm 379,318
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-1794,52 - \sqrt{(1794,52)^2 - (4 \times 16,8 \times -2369300)}}{2 \times 16,8} \\
 &= -53,408 - 379,318 \\
 &= -432,726 \\
 d_2 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-1794,52 + \sqrt{(1794,52)^2 - (4 \times 16,8 \times -2369300)}}{2 \times 16,8} \\
 &= -53,408 + 379,318 \\
 &= 325,91
 \end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 325,91$

### Persamaan 3

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
 &\quad (SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (c)) \\
 &= 0,33 \times \sqrt{30} \times (2 \times (500 + 500) + 4d) \times d \\
 &= 0,33 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\
 &= 1,8 \times (2000d + 4d^2) \\
 &= 3600d + 7,2d^2
 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_c \\
 2369300 - 430d - 0,43d^2 &\leq 0,75(3600d + 7,2d^2) \\
 2369300 - 430d - 0,43d^2 &\leq 2700d + 5,4d^2 \\
 0 &\leq -2369300 + 3130d + 5,83d^2 \\
 d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-3130 \pm \sqrt{(3130)^2 - (4 \times 5,83 \times -2369300)}}{2 \times 5,83} \\
 &= -268,44 \pm 691,706
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-2520,32 - \sqrt{(2520,32)^2 - (4 \times 5,4 \times -2113342,73)}}{2 \times 5,4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -268,44 - 691,706 \\
&= -960,146 \\
d_2 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
&= \frac{-2520,32 + \sqrt{(2520,32)^2 - (4 \times 5,4 \times -2113342,73)}}{2 \times 5,4} \\
&= -268,44 + 691,706 \\
&= 423,266
\end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 423,266$

Maka dipakai  $d = 423,266 \text{ mm}$

Dipakai  $h$  = tebal selimut + D tul. Poer +  
 $\frac{1}{2}$  D tul. Pile cap + D rencana  
 $= 75 \text{ mm} + 22 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} +$

423,26 mm

$= 531,26 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$

Cek berdasarkan panjang penyaluran tulangan kolom

Panjang sambungan lewatan kolom

$L_d = 0,071 \times f_y \times d_b$

**(SNI 2847:2013 Pasal 12.16.1)**

$= 0,071 \times 400 \text{ Mpa} \times 25 \text{ mm}$

$= 710 \text{ mm}$

Cek persyaratan:

$L_d \geq 300 \text{ mm}$

$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$  (memenuhi)

Bengkokan  $90^\circ$  ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas kait.

$L = 12 \text{ db}$

$= 12 \times 25 \text{ mm}$

$= 300 \text{ mm}$

$L_d \text{ vertikal} = 710 \text{ mm} - 300 \text{ mm}$

$= 410 \text{ mm}$

Cek :

$$h > L_d$$

$$600 \text{ mm} > 410 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tinggi poer 600 mm.

- **Perhitungan Daya Dukung Tiang dalam Kelompok**

Dari output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut:

Akibat Beban Tetap

( 1D+1L)

$$P = 277,94 \text{ ton}$$

$$M_x = 1,78 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 1,25 \text{ ton.m}$$

Akibat Beban Sementara

$$(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)$$

$$P = 280,98 \text{ ton}$$

$$M_x = 9,22 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 2,11 \text{ ton.m}$$

Akibat Beban Sementara

$$(D+0,7Ex+0,21Ey+0,75L+0,75Lr)$$

$$P = 274,86 \text{ ton}$$

$$M_x = 1,67 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 8,99 \text{ ton.m}$$

P Akibat Pengaruh Beban Tetap

( 1D+1L)

$$P = 277,94 \text{ ton}$$

$$M_x = 1,78 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 1,25 \text{ ton.m}$$

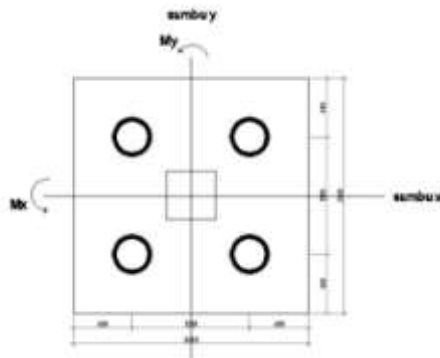
Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban tetap adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat Pile Cap} = \left( 2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 2,4\text{m} \times 2,4\text{m} \times 0,6\text{m} \right)$$

$$= 8,29 \text{ ton}$$

$$\underline{P} = 277,94 \text{ ton}$$

$$\Sigma P = 286,23 \text{ ton}$$



Gambar 4. 69 : Gaya poer dan pancang

Tabel 15 : Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	- 0,60	0,36
X2	0,60	0,36
X3	- 0,60	0,36
X4	0,60	0,36
$\Sigma X^2$		1,44
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,60	0,36
Y2	0,60	0,36
Y3	- 0,60	0,36
Y4	- 0,60	0,36
$\Sigma Y^2$		1,44

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{286,23 \text{ ton}}{4} - \frac{1,25 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} + \frac{1,78 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 71,78 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{286,23 \text{ ton}}{4} + \frac{1,25 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} + \frac{1,78 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 72,82 \text{ ton} \\
 P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{286,23 \text{ ton}}{4} - \frac{1,25 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} - \frac{1,78 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 70,29 \text{ ton} \\
 P_4 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{286,23 \text{ ton}}{4} + \frac{1,25 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} - \frac{1,78 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 71,34 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_2 = 72,82 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\
 72,82 \text{ ton} &\leq 0,79 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\
 72,82 \text{ ton} &\leq 92,33 \text{ ton} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

#### P Akibat Pengaruh Beban Sementara

$$(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)$$

$$P = 280,98 \text{ ton}$$

$$M_x = 9,22 \text{ ton.m}$$

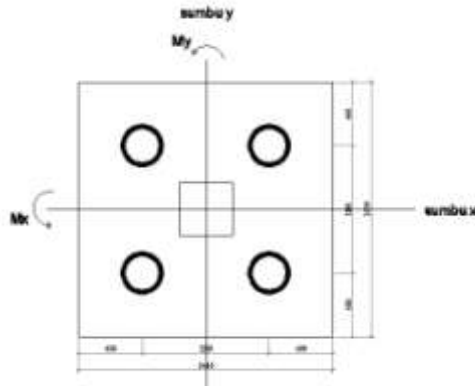
$$M_y = 2,11 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:



$$\begin{aligned}\text{Berat Pile Cap} &= (2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 2,4\text{m} \times 2,4\text{m} \times 0,6\text{m}) \\ &= 8,29 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P}{\Sigma P} &= \frac{280,98 \text{ ton}}{289,27 \text{ ton}}\end{aligned}$$



	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	- 0,60	0,36
X2	0,60	0,36
X3	- 0,60	0,36
X4	0,60	0,36
$\Sigma X^2$		1,44
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,60	0,36
Y2	0,60	0,36
Y3	- 0,60	0,36
Y4	- 0,60	0,36
$\Sigma Y^2$		1,44

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\ P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\ &= \frac{280,98 \text{ ton}}{4} - \frac{2,11 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} + \frac{9,22 \text{ ton} \times 0,60}{1,44}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 75,28 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{280,98 \text{ ton}}{4} + \frac{2,11 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} + \frac{9,22 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 77,04 \text{ ton} \\
 P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{280,98 \text{ ton}}{4} - \frac{2,11 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} - \frac{9,22 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 67,60 \text{ ton} \\
 P_4 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{280,98 \text{ ton}}{4} + \frac{2,11 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} - \frac{9,22 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 69,35 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 77,04 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\
 77,04 \text{ ton} &\leq 0,79 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\
 77,04 \text{ ton} &\leq 92,33 \text{ ton} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

#### P Akibat Pengaruh Beban Sementara

$$(D+0,7E_x+0,21E_y+0,75L+0,75L_r)$$

$$P = 274,86 \text{ ton}$$

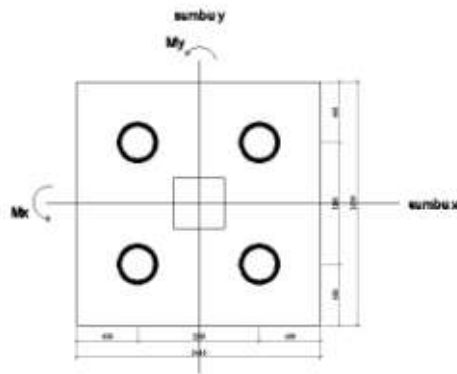
$$M_x = 1,67 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 8,99 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}\right) \\
 &= 8,29 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\frac{P}{\Sigma P} = \frac{280,98 \text{ ton}}{289,27 \text{ ton}}$$



	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	- 0,60	0,36
X2	0,60	0,36
X3	- 0,60	0,36
X4	0,60	0,36
$\Sigma X^2$		1,44
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,60	0,36
Y2	0,60	0,36
Y3	- 0,60	0,36
Y4	- 0,60	0,36
$\Sigma Y^2$		1,44

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{274,86 \text{ ton}}{4} - \frac{8,99 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} + \frac{1,67 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 67,74 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{274,86 \text{ ton}}{4} + \frac{8,99 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} + \frac{1,67 \text{ ton} \times 0,60}{1,44}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 75,23 \text{ ton} \\
 P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{274,86 \text{ ton}}{4} - \frac{8,99 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} - \frac{1,67 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 66,35 \text{ ton} \\
 P_4 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\
 &= \frac{274,86 \text{ ton}}{4} + \frac{8,99 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} - \frac{1,67 \text{ ton} \times 0,60}{1,44} \\
 &= 73,84 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 75,23 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\
 75,23 \text{ ton} &\leq 0,79 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\
 75,23 \text{ ton} &\leq 92,33 \text{ ton} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

#### • **Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap**

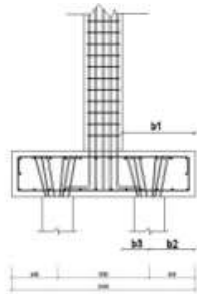
Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban semetara lebih besar daripada P beban tetap.

#### **Data Perencanaan**

Dimensi poer	= 2,4 m x 2,4 m x 0,60 m
Jumlah tiang pancang	= 4 buah
Dimensi kolom	= 500 mm x 500 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa

Diameter tulangan utama	= 22 mm
Selimut beton (p)	= 75 mm
h	= 600 mm
$dx = 600 - 75 - (1/2 \times 22)$	= 514 mm
$dy = 600 - 75 - 22 - (1/2 \times 22)$	= 492 mm
$\phi$	= 0,9
$\beta$	= 0,85

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :



Poer arah X :

$$b1 = 950 \text{ mm}$$

$$b2 = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 350 \text{ mm}$$

Poer arah Y :

$$b1 = 950 \text{ mm}$$

$$b2 = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 350 \text{ mm}$$

### **Penulangan Poer Arah X**

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 2,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,95 \text{ m} \\ &= 3283,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

P max beban tiang

$$\text{Maka diambil } P = 75233,56 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$M_u = (-M_q + M_p)$$

$$\begin{aligned}
 &= [-(qu \times \frac{1}{2} b l) + (P \times b_3)] \\
 &= [-(1559,52 \text{ kgm}) + (26331,74 \text{ kgm})] \\
 &= 24772,22 \text{ kgm} = 247722200 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 M_n &= \frac{247722200}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$= 275246942,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{275246942,6 \text{ Nmm}}{(2400 \text{ mm} \cdot (514 \text{ mm})^2)} = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \left( \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c')}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \right) \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,024$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - (2m \cdot R_n))}{f_y} \right)} \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - ((2 \cdot 15,69) \cdot 0,43))}{400 \text{ Mpa}} \right)} \\
 &= 0,0011
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0011 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 514 \text{ mm}$$

$$= 4317,6 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1200 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{4317,6 \text{ mm}^2}$$

$$= 211,3 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka tulangan yang digunakan tumpuan X adalah D22 – 200 mm

$$\text{As pakai} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{S_{\text{pakai}}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{200 \text{ mm}}$$

$$= 4561,59 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$\begin{array}{ll} \text{As pakai} & > \quad \text{As perlu} \\ 4561,59 \text{ mm}^2 & > \quad 4317,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi}) \end{array}$$

### **Penulangan Poer Arah Y**

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 2,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,95 \text{ m} \\ &= 3283,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

P max beban tiang

$$\text{Maka diambil } P = 77038,14 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= (-M_q + M_p) \\ &= [(-q_u \times \frac{1}{2} b_1) + (P \times b_3)] \\ &= [-(1559,52 \text{ kgm}) + (26963 \text{ kgm})] \\ &= 25403,83 \text{ kgm} = 254038300 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{254038300}{0,9} \\ &= 282264766,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{282264766,7 \text{ Nmm}}{(2400 \text{ mm} \cdot (492 \text{ mm})^2)} = 0,49$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c')}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right) \\
 \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \right) \\
 &= 0,033 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,024
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - (2m \cdot R_n))}{f_y} \right)} \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - ((2 \cdot 15,69) \cdot 0,49))}{400 \text{ Mpa}} \right)} \\
 &= 0,0012
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0012 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 492 \text{ mm}$$

$$= 4132,8 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1200 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$S = \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b \right)}{A_s}$$

$$= \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm} \right)}{4132,8 \text{ mm}^2}$$

$$= 220,75 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

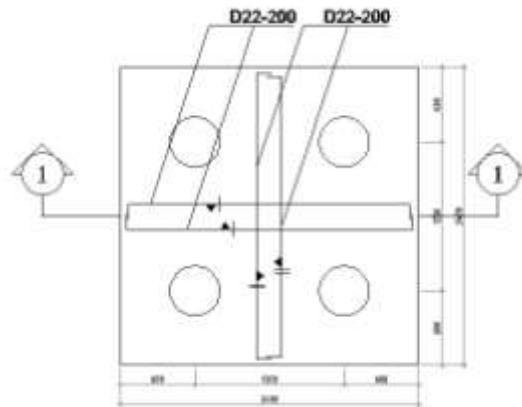
Maka tulangan yang digunakan tumpuan Y adalah D22 – 200 mm



$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm}\right)}{200 \text{ mm}} \\
 &= 4561,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{As pakai} & > & \text{As perlu} \\
 4561,59 \text{ mm}^2 & > & 4132,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})
 \end{array}$$



Gambar 4. 70 : Detail penulangan poer tipe 2

#### 4.2.4.2.3 Perhitungan Pondasi Tipe 3

- Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang**

Diketahui OUTPUT SAP 2000 sebagai berikut:

Akibat Beban Tetap

( 1D+1L)

$$P = 213693,5 \text{ kg}$$

$$= 213,69 \text{ ton}$$

Akibat Beban Sementara

$$(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)$$

$$P = 215293,3 \text{ kg}$$

$$= 215,29 \text{ ton}$$

Akibat Beban Sementara

$$(D+0,7E_x+0,21E_y+0,75L+0,75L_r)$$

$$P = 210178,3 \text{ kg}$$

$$= 210,18 \text{ ton}$$

Dipilih P dengan nilai terbesar, sehingga didapatkan nilai  $P_{\max} = 215,29 \text{ ton}$

### Perencanaan Dimensi Pile Cap

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri pile cap:

$$P_{\max} = 215,29 \text{ ton}$$

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{215,29 \text{ ton}}{77,41 \text{ ton}} = 2,78 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 3 buah.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam kelompok jarak antar tiang pancang (S):

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S) :

$$2,5 \times D \leq S \leq 3 \times D$$

$$2,5 \times 40 \text{ cm} \leq S \leq 3 \times 40 \text{ cm}$$

$$100 \text{ cm} \leq S \leq 120 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $S = 120 \text{ cm}$

Sedangkan perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap (S') :

$$1,5 \times D \leq S' \leq 2 \times D$$

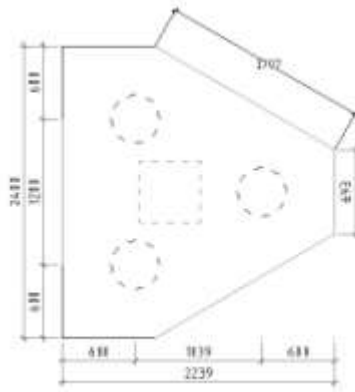
$$1,5 \times 40 \text{ cm} \leq S' \leq 2 \times 40 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} \leq S' \leq 80 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $S' = 60 \text{ cm}$

**(Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2,  
Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)**

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar pile cap adalah:



Gambar 4. 71 : Penampang Pile Cap Tipe 3

Luas penampang Pile Cap adalah  $4,11 \text{ m}^2$

Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditemukan dimensi pile cap:

Perhitungan beban pondasi setelah ditambahkan berat sendiri pile cap dengan tebal pile cap diasumsikan 60 cm.

$$P_{\max} = 215,29 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 4,11 \text{ m}^2 \times 0,6\text{m}\right) \\ &= 5,92 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\sum P = 221,21 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} \\ &= \frac{221,21 \text{ ton}}{77,41 \text{ ton}} = 2,86 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jadi, dibutuhkan 3 buah tiang pancang

- **Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi**

perhitungan daya dukung pile dalam kelompok haruslah mempertimbangkan efisiensi dari hubungan tersebut:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam 1 baris

n = banyaknya baris

D = Diameter tiang pancang

S = jarak antar As tiang pancang

$\theta$  = arc tg D/S

$$= \text{arc tg } 40/120 = 18,43$$

*(Analisa Desain Pondasi Jilid 2 hal 379,  
Joseph E. Bowles)*

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= 1 - 18,43 \frac{(1-1)2 + (2-1)1}{90 \cdot 2 \cdot 1} \\ &= 0,898 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ijin tanah}} &= \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \\ &= 0,898 \times 77,41 \text{ ton} = 69,48 \text{ ton} \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ijin tanah}} &< \bar{P}_{\text{ijin bahan}} \\ 69,48 \text{ ton} &< 121,10 \text{ ton ( OK )} \end{aligned}$$

- **Perhitungan tebal poer**

Reaksi perlawanan tanah ( $q_t$ )

$$\begin{aligned} q_t &= \frac{P_{\text{ijin tanah total}}}{\text{luasan poer}} \\ &= \frac{3 \times 69,48 \text{ ton}}{4,11 \text{ m}^2} \\ &= 50,74 \text{ ton/m}^2 \\ &= 0,51 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung d (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai d terbesar di antara keduanya).

### Perhitungan Geser Satu Arah pada Pile Cap

#### Luasan Tributari At (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} At &= \frac{L_{\text{poer}} - B_{\text{kolom}} - 2 t_{\text{poer}}}{2} \times b_{\text{pile cap}} \\ &= \frac{2400 \text{ mm} - 500 \text{ mm} - 2d}{2} \times 2239 \text{ mm} \\ &= (950 \text{ mm} - d) \times 2239 \text{ mm} \\ &= 2127050 \text{ mm}^2 - 2239 \text{ mm}^2 \cdot d \end{aligned}$$

#### Beban Gaya Geser Vu (N)

$$\begin{aligned} Vu &= qt \times At \\ &= 0,51 \text{ N/mm}^2 \times (2127050 \text{ mm}^2 - 2239 \text{ mm}^2 \cdot d) \\ &= 1084795,5 - 1141,9 d \end{aligned}$$

#### Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton Vc (N)

$$Vc = 0,17 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times b_w \times d$$

*(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)*

Syarat:

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$1084795,5 - 1141,9 d \leq 0,75 \times 0,17 \times \sqrt{30} \times 2239 \times d$$

$$1084795,5 - 1141,9 d \leq 1563,60 d$$

$$1084795,5 \leq 1563,60 d + 1141,9 d$$

$$d \leq 400,96$$

### Perhitungan Geser Dua Arah pada Pile Cap

Perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka Vc harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai Vc terkecil.

$$Vc = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\beta_c = 500/500 = 1$$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$$V_c = 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$\alpha_s = 40 \text{ untuk kolom tengah}$$

$$\alpha_s = 30 \text{ untuk kolom tepi}$$

$$\alpha_s = 20 \text{ untuk kolom sudut}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a), (b), (c))

Luasan Tributari At (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} At &= (l_{\text{pile cap}} \times b_{\text{pile cap}}) - ((h_{\text{kolom}} + t_{\text{pile cap}}) \times \\ &\quad (b_{\text{kolom}} + t_{\text{pile cap}})) \\ &= (2400\text{mm} \times 2239\text{mm}) - ((500\text{mm} + d) \\ &\quad \times (500\text{mm} + d)) \\ &= 5123600\text{ mm}^2 - 1000\text{mm} \cdot d - d^2 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$\begin{aligned} Vu &= qt \times At \\ &= 0,51\text{ N/mm}^2 \times (5123600\text{ mm}^2 - \\ &\quad 1000\text{ mm} \cdot d - d^2) \\ &= 2613036 - 510\text{ d} - 0,51\text{ d}^2 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\ &\quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a))} \\ &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times (2 \times \\ &\quad (500\text{mm} + 500\text{mm}) + 4d) \times d \\ &= 0,17 \times 3 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\ &= 2,793 \times (2000d + 4d^2) \\ &= 5586 \cdot d + 11,17\text{ d}^2 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$Vu \leq \phi V_c$$

$$2613036 - 510\text{ d} - 0,51\text{ d}^2 \leq 0,75 \times (5586 \cdot d + 11,17\text{d}^2)$$

$$2613036 - 510\text{ d} - 0,51\text{ d}^2 \leq 4189,5\text{d} + 8,38\text{d}^2$$

$$0 \leq 2613036 + 4699,5d + 8,89d^2$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-4699,5 \pm \sqrt{(4699,5)^2 - (4 \times 8,89 \times -2613036)}}{2 \times 8,89}$$

$$= -264,31 \pm 603,15$$

$$d_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-4699,5 - \sqrt{(4699,5)^2 - (4 \times 8,89 \times -2613036)}}{2 \times 8,89}$$

$$= -264,31 - 603,15$$

$$= -867,46$$

$$d_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-4699,5 + \sqrt{(4699,5)^2 - (4 \times 8,89 \times -2613036)}}{2 \times 8,89}$$

$$= -264,31 + 603,15$$

$$= 338,84$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 338,84$

#### Persamaan 2

$$V_c = 0,083 \times \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (b))**

$$= 0,083 \times \left( \frac{40 \times d}{(2 \times (500 + 500) + 4d)} + 2 \right) \times \sqrt{30} \times (2 \times (500 + 500) + 4d) \times d$$

$$= 0,083 \times \left( \frac{40d}{(2000 + 4d)} + 2 \right) \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d$$

$$= 0,083 \times (40d + 2(2000 + 4d)) \times 5,48 \times d$$

$$= 0,083 \times (48d + (4000)) \times 5,48 \times d$$

$$= 1819,36d + 21,83d^2$$

Cek syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$= 2613036 - 510 d - 0,51 d^2 \leq 0,75(1819,36d + 21,83d^2)$$

$$= 2613036 - 510 d - 0,51 d^2 \leq 1364,52d + 16,37d^2$$

$$0 \leq -2613036 + 1874,5d + 16,88d^2$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-1874,5 \pm \sqrt{(1874,5)^2 - (4 \times 16,88 \times -2613036)}}{2 \times 16,88}$$

$$= -55,52 \pm 397,34$$

$$d_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-1874,5 - \sqrt{(1874,5)^2 - (4 \times 16,88 \times -2613036)}}{2 \times 16,88}$$

$$= -55,52 - 397,34$$

$$= -452,86$$

$$d_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-1874,5 + \sqrt{(1874,5)^2 - (4 \times 16,88 \times -2613036)}}{2 \times 16,88}$$

$$= -55,52 + 397,34$$

$$= 341,82$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 341,82$

### Persamaan 3

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (c))$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times (2 \times (500 + 500) + 4d) \times d$$

$$= 0,33 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d$$

$$= 1,8 \times (2000d + 4d^2)$$

$$= 3600d + 7,2d^2$$

Cek syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$2613036 - 510 d - 0,51 d^2 \leq 0,75(3600d + 7,2d^2)$$

$$2613036 - 510 d - 0,51 d^2 \leq 2700d + 5,4d^2$$

$$0 \leq -2613036 + 3210d + 5,91d^2$$



$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-3210 \pm \sqrt{(3210)^2 - (4 \times 5,91 \times -2613036)}}{2 \times 5,91}$$

$$= -271,57 \pm 718,25$$

$$d_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-3210 - \sqrt{(3210)^2 - (4 \times 5,91 \times -2613036)}}{2 \times 5,91}$$

$$= -271,57 - 718,25$$

$$= -989,82$$

$$d_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-3210 + \sqrt{(3210)^2 - (4 \times 5,91 \times -2613036)}}{2 \times 5,91}$$

$$= -271,57 + 718,25$$

$$= 446,68$$

Akar yang memenuhi syarat adalah  $d_2 = 446,68$

Maka dipakai  $d = 423,266 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Dipakai } h &= \text{tebal selimut} + D \text{ tul. Poer} + \\ &\quad \frac{1}{2} D \text{ tul. Pile cap} + D \text{ rencana} \\ &= 75 \text{ mm} + 22 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} + \\ &\quad 446,68 \text{ mm} \\ &= 554,68 \text{ mm} = 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek berdasarkan panjang penyaluran tulangan kolom

Panjang sambungan lewatan kolom

$$L_d = 0,071 \times f_y \times d_b$$

**(SNI 2847:2013 Pasal 12.16.1)**

$$= 0,071 \times 400 \text{ Mpa} \times 25 \text{ mm}$$

$$= 710 \text{ mm}$$

Cek persyaratan:

$$L_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Bengkokan  $90^\circ$  ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas kait.

$$L = 12 \text{ db}$$

$$= 12 \times 25 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

$$L_d \text{ vertikal} = 710 \text{ mm} - 300 \text{ mm}$$

$$= 410 \text{ mm}$$

Cek :

$$h > L_d$$

$$600 \text{ mm} > 410 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tinggi poer 600 mm.

- **Perhitungan Daya Dukung Tiang dalam Kelompok**

Dari output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut:

Akibat Beban Tetap

( 1D+1L)

$$P = 213,69 \text{ ton}$$

$$M_x = 2,10 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 0,24 \text{ ton.m}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,21Ex+0,7Ey+0,75L+0,75Lr)

$$P = 215,29 \text{ ton}$$

$$M_x = 10,43 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 3,12 \text{ ton.m}$$

Akibat Beban Sementara

(D+0,7Ex+0,21Ey+0,75L+0,75Lr)

$$P = 210,18 \text{ ton}$$

$$M_x = 4,48 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 9,93 \text{ ton.m}$$

P Akibat Pengaruh Beban Tetap

( 1D+1L)

$$P = 213,69 \text{ ton}$$

$$M_x = 2,10 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 0,24 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban tetap adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 4,11 \text{ m}^2 \times 0,6\text{m}\right) \\
 &= 5,92 \text{ ton} \\
 \frac{P}{\Sigma P} &= \frac{213,69 \text{ ton}}{219,61 \text{ ton}}
 \end{aligned}$$

Tabel 16 : Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0,00	0,00
X2	-0,60	0,36
X3	0,60	0,36
$\Sigma X^2$		0,72
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,75	0,56
Y2	-0,29	0,08
Y3	-0,29	0,08
$\Sigma Y^2$		0,73

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\Sigma y^2} \\
 P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{219,61 \text{ ton}}{3} + \frac{0,24 \text{ ton} \times 0,00}{0,72} + \frac{2,10 \text{ ton} \times 0,75}{0,73} \\
 &= 75,36 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{219,61 \text{ ton}}{3} - \frac{0,24 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} - \frac{2,10 \text{ ton} \times 0,29}{0,73} \\
 &= 72,17 \text{ ton} \\
 P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma y^2}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{219,61 \text{ ton}}{3} + \frac{0,24 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} - \frac{2,10 \text{ ton} \times 0,29}{0,73}$$

$$= 72,57 \text{ ton}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_2 = 75,36 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned} P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\ 75,36 \text{ ton} &\leq 0,898 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\ 75,36 \text{ ton} &\leq 104,22 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### P Akibat Pengaruh Beban Sementara

$$(D+0,21E_x+0,7E_y+0,75L+0,75L_r)$$

$$P = 215,29 \text{ ton}$$

$$M_x = 10,43 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 3,12 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 4,11 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m}\right) \\ &= 5,92 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{P}{\Sigma P} &= \frac{215,29 \text{ ton}}{221,21 \text{ ton}} \end{aligned}$$

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0,00	0,00
X2	-0,60	0,36
X3	0,60	0,36
$\Sigma X^2$		0,72
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)

Y1	0,75	0,56
Y2	-0,29	0,08
Y3	-0,29	0,08
$\sum Y^2$		0,73

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y \times X}{\sum X^2} + \frac{M_x \times Y}{\sum Y^2} \\ &= \frac{221,21 \text{ ton}}{3} + \frac{3,12 \text{ ton} \times 0,00}{0,72} + \frac{10,43 \text{ ton} \times 0,75}{0,73} \\ &= 84,45 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{\sum P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \\ &= \frac{221,21 \text{ ton}}{3} - \frac{3,12 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} - \frac{10,43 \text{ ton} \times 0,29}{0,73} \\ &= 66,99 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{\sum P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum Y^2} \\ &= \frac{221,21 \text{ ton}}{3} + \frac{3,12 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} - \frac{10,43 \text{ ton} \times 0,29}{0,73} \\ &= 72,19 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 84,45 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$\begin{aligned} P_{\max} &\leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5 \\ 84,45 \text{ ton} &\leq 0,898 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5 \\ 84,45 \text{ ton} &\leq 104,22 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

P Akibat Pengaruh Beban Sementara

$$(D+0,7E_x+0,21E_y+0,75L+0,75L_r)$$

$$P = 210,18 \text{ ton}$$

$$M_x = 4,48 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 9,93 \text{ ton.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat Pile Cap} &= \left(2,4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 4,11 \text{ m}^2 \times 0,6\text{m}\right) \\ &= 5,92 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\frac{P}{\Sigma P} = \frac{210,18 \text{ ton}}{216,09 \text{ ton}}$$

$$\Sigma P = 216,09 \text{ ton}$$

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0,00	0,00
X2	-0,60	0,36
X3	0,60	0,36
$\Sigma X^2$		0,72
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,75	0,56
Y2	-0,29	0,08
Y3	-0,29	0,08
$\Sigma Y^2$		0,73

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma Y^2} \\ &= \frac{216,09 \text{ ton}}{3} + \frac{9,93 \text{ ton} \times 0,00}{0,72} + \frac{4,48 \text{ ton} \times 0,75}{0,73} \\ &= 76,63 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2} \\ &= \frac{216,09 \text{ ton}}{3} - \frac{9,93 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} - \frac{4,48 \text{ ton} \times 0,29}{0,73} \\ &= 61,97 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$P_3 = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{M_x \cdot Y}{\Sigma Y^2}$$

$$= \frac{216,09 \text{ ton}}{3} + \frac{9,93 \text{ ton} \times 0,60}{0,72} - \frac{4,48 \text{ ton} \times 0,29}{0,73}$$

$$= 78,53 \text{ ton}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 78,53 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk tanah keras daya dukung tiang yang diizinkan dapat dinaikkan sampai 50%.

$$P_{\max} \leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,5$$

$$78,53 \text{ ton} \leq 0,898 \times 77,41 \text{ ton} \times 1,5$$

$$78,53 \text{ ton} \leq 104,22 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

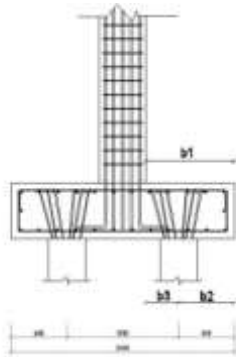
#### • **Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap**

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban semetara lebih besar daripada P beban tetap.

#### **Data Perencanaan**

Jumlah tiang pancang	= 3 buah
Dimensi kolom	= 500 mm x 500 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 MPa
Diameter tulangan utama	= 22 mm
Selimut beton ( $p$ )	= 75 mm
$h$	= 600 mm
$dx = 600 - 75 - (1/2 \times 22)$	= 514 mm
$dy = 600 - 75 - 22 - (1/2 \times 22)$	= 492 mm
$\phi$	= 0,9
$\beta$	= 0,85

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :



Poer arah X :

$$b1 = 637 \text{ mm}$$

$$b2 = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 37 \text{ mm}$$

Poer arah Y :

$$b1 = 950 \text{ mm}$$

$$b2 = 600 \text{ mm}$$

$$b3 = 350 \text{ mm}$$

### **Penulangan Poer Arah X**

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 2,239 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,64 \text{ m} \\ &= 2053,79 \text{ kg} \end{aligned}$$

P max beban tiang

$$\text{Maka diambil } P = 78529,32 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= (-M_q + M_p) \\ &= [(-q_u \times \frac{1}{2} b1) + (P \times b3)] \\ &= [-(654,13 \text{ kgm}) + (2905,59 \text{ kgm})] \\ &= 2251,45 \text{ kgm} = 22514500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$



$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{22514500}{0.9} \\
 &= 25016143,7 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{25016143,7 \text{ Nmm}}{(2239 \text{ mm} \cdot (514 \text{ mm})^2)} = 0,42 \text{ N/mm}^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c')}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right) \\
 \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \right) \\
 &= 0,033 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,024
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - (2m \cdot R_n))}{f_y} \right)} \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - ((2 \cdot 15,69) \cdot 0,42))}{400 \text{ Mpa}} \right)} \\
 &= 0,0001
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0001 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 2239 \text{ mm} \cdot 514 \text{ mm}$$

$$= 4027,96 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1200 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$S = \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b \right)}{\text{As}}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2239 \text{ mm}\right)}{4027,96 \text{ mm}^2}$$

$$= 211,30 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Maka tulangan yang digunakan tumpuan X adalah D22 – 200 mm

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b\right)}{\text{Spakai}} \\ &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2239 \text{ mm}\right)}{200 \text{ mm}} \\ &= 4255,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &> \text{As perlu} \\ 4255,59 \text{ mm}^2 &> 4027,96 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

### **Penulangan Poer Arah Y**

$$\begin{aligned} q_u = \text{berat poer} &= 2,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,95 \text{ m} \\ &= 3283,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

P max beban tiang

$$\text{Maka diambil } P = 84445,14 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= (-M_q + M_p) \\ &= [(-q_u \times \frac{1}{2} b l) + (P \times b/3)] \\ &= [-(1559,52 \text{ kgm}) + (29556 \text{ kgm})] \\ &= 27996,28 \text{ kgm} = 279962800 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ M_n &= \frac{279962800}{0,9} \\ &= 311069771,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{311069771,3 \text{ Nmm}}{(2400 \text{ mm} \cdot (492 \text{ mm})^2)} = 0,54$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,69 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c')}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + f_y)} \right) \\ \rho_b &= \left( \frac{(0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa})}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \left( \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \right) \\ &= 0,033 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,024\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - (2m \cdot R_n))}{f_y} \right)} \\ &= \frac{1}{15,69} \cdot \sqrt{\left( 1 - \frac{(1 - ((2 \cdot 15,69) \cdot 0,54))}{400 \text{ Mpa}} \right)} \\ &= 0,0013\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0013 < 0,024 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka dipakai  $\rho_{\min} = 0,0035$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 492 \text{ mm} \\ &= 4132,8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} \leq 2 \cdot 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 1200 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D22

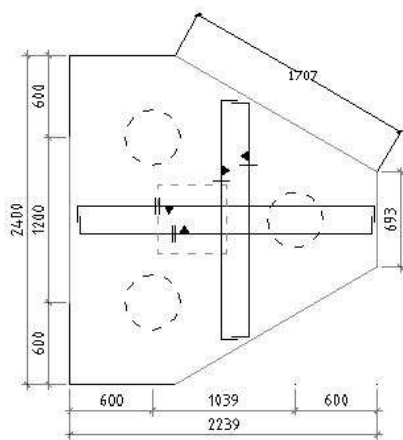
$$\begin{aligned}S &= \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b \right)}{\text{As}} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm} \right)}{4132,8 \text{ mm}^2} \\ &= 220,75 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})\end{aligned}$$

Maka tulangan yang digunakan tumpuan Y adalah D22 – 200 mm

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b \right)}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{\left( \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (22 \text{ mm})^2 \cdot 2400 \text{ mm} \right)}{200 \text{ mm}} \\ &= 4561,59 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

As pakai > As perlu  
 $4561,59 \text{ mm}^2 > 4132,8 \text{ mm}^2$  (Memenuhi)



Gambar 4. 72 : Detail penulangan poer tipe 3

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan stuktur gedung beton bertulang didaerah zona 3 dapat dirancang dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dengan perhitungan gempa static ekivalen yang periode ulangnya 2 % dalam 50 tahun dimana bangunan gedung perkuliahan masuk dalam kategori resiko IV yang nilai  $R = 5$ .
2. Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan Gedung Perkuliahan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan menggunakan metode SRPMM. Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :
  - a. Komponen pelat tangga

Tipe	Arah X		Susut Arah X		Arah Y		Susut Arah Y	
	Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Plat bordes 1	16	150	8	150	16	100	-	-
Plat tangga 1	16	100	8	150	16	100	8	150
Plat bordes 2	14	150	8	150	14	100	-	-
Plat tangga 2	14	150	8	150	14	100	8	150

## b. Komponen pelat lantai

Tip e		Arah X		Susut Arah X		Arah Y		Susut Arah Y	
		Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
S1	L	8	150	8	200	8	150	8	200
	T	12	150	8	200	12	150	8	200
S2	L	8	150	8	200	8	150	8	200
	T	12	150	8	200	12	150	8	200
S3	L	8	150	8	200	8	150	8	200
	T	12	150	8	200	12	150	8	200
S4	L	8	150	8	200	8	150	8	200
	T	12	150	8	200	12	150	8	200
S5	L	8	150	8	200	8	150	8	200
	T	12	150	8	200	12	150	8	200

## c. Komponen Balok

Tipe balok	Be nta ng bal ok	Dim ensi	Tulan gan torsi	Tulangan Lentur				Tulangan geser	
	Cm	cm		Tumpunan		Lapangan		Tumpu an	Lapan gan
				Tarik	Teka n	Tar ik	Tek an		
B1	800	40/60	2D19	7D25	3D25	5D22	2D22	D10-100	D10-150
BA	400	30/40	2D19	5D16	2D16	4D16	2D16	D10-80	D10-150

BK	200	20/25	2D10	4D12	2D12	2D12	D8-90	D8-90
BB	400	30/40	2D16	3D16	2D16	3D19	D10-100	D10-100
Sloof	800	40/60	2D19	4D19	2D19	4D19	D10-120	D10-120

d. Komponen Kolom

<i>Tipe kolom</i>	<i>Penulangan</i>	
Kolom Lantai 1 50/50	<b>Lentur</b>	16D25
	<b>Geser</b>	Ø12 – 150
Kolom Lantai 2 50/50	Lentur	16D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 3 50/50	Lentur	12D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 4 50/50	Lentur	12D25
	Geser	Ø12 – 150
Kolom Lantai 5 50/50	Lentur	12D25
	Geser	Ø12 – 150

e. Komponen Pile cape dan Tiang Pancang

P1 = 120 cm x 240 cm x 60 cm

- Arah X = D16-200
- Arah Y = D22-200

P2 = 240 cm x 240 cm x 60 cm

- Arah X = D22-200
- Arah Y = D22-200

## 5.2 Saran

1. Dalam pengumpulan data perencanaan perlu didapatkan dengan lengkap mulai gambar arsitek dan stuktur asli dari pihak pemilik data dan juga data tanah sebagai data primer perencanaan perhitungan.
2. Untuk proses perhitungan perencanaan menggunakan referensi yang sesuai dengan keilmuan yang dipelajari dari semester 1 sampai 6.
3. Penentuan preliminary desain stuktur primer harus mempertimbangan efesiensi dari ukuran yang digunakan seperti mempertimbangan kemudahan dalam pelaksanaan, kemampuan penampang.



## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Badan Standarisasi Nasional, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2013)”, Jakarta, 2013.
2. Badan Standarisasi Nasional, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726- 2012)”, Jakarta, 2012.
3. Badan Standarisasi Nasional, “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain(SNI 1727- 2013)”, Jakarta, 2013.
4. E. Bowies, Joseph,”Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2”
5. Terzaghi, Karl dan Peck, Ralph B., “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa”
6. Sosrodarsono.,Ir.Suyono.,Nakazawa,kazuto.1983.”Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi”, PT. Pradnya Paramita ,Jakarta
7. Pamungkas, Anugrah dan Harianti, Erny.2013,”Desain Pondasi Tahan Gempa”.Penerbit ANDI
8. Wang. Chu-Kia dan Charles G. Salmon, “Desain Beton Bertulang Jilid 1 Dan 2 Edisi Keempat”

## Lampiran

### A. Metode Pelaksanaan Tiang Pancang

Tabel 1 : *Range load Diesel Hammer*

Pile Diameter (mm)	Diesel Hammer, Kobe or equivalent		
	K22/K25	K32/35	K45/KB45
350	X		
400	X		
450	X	X	
500		X	
600		x	X
Range of Working Load (ton)	40-140	80-230	140-320

## Metode Pelaksanaan

### A. Tahap Persiapan

1. Penentuan alat pancang yang digunakan : Peralatan pancang yang dipakai harus mempunyai efisiensi dan energi yang memadai.

Catatan:

- Tabel diatas memberikan rekomendasi secara umum untuk diesel hammer.
  - Pemilihan jenis *hammer* secara tepat harus memperhitungkan panjang tiang, daya dukung tiang, dan kondisi tanah.
2. Rencanakan set tiang final : Untuk menentukan pada kedalaman mana pemancangan tiang dapat dihentikan, berdasarkan data tanah dan data jumlah pukulan terakhir (*final set*)
  3. Rencanakan urutan pemancangan dengan pertimbangan kemudahan maneuver alat. Lokasi stok material ditempatkan sedekat mungkin dengan lokasi pemancangannya.
  4. Tentukan letak titik pancang dengan theodolite dan tandai dengan patok

## B. PROSES PEMANCANGAN

1. Alat pancang ditempatkan sedemikian rupa sehingga as *hammer* jatuh pada patok titik pancang yang telah ditentukan.
2. Tiang diangkat pada titik angkat yang telah disediakan pada setiap titik tiang.
3. Tiang didirikan di samping *driving lead* dan kepala tiang dipasang pada helmet yang telah dilapisi kayu sebagai pelindung dan pegangan kepala tiang.
4. Ujung bawah tiang didudukkan secara cermat di atas patok pancang yang telah ditentukan.
5. Penyetelan vertical tiang dilakukan dengan mengatur panjang *backstay* sambil diperiksa dengan *waterpass* sehingga diperoleh posisi yang betul-betul vertical.
6. Sebelum pemancangan dimulai, bagian bawah tiang diklem dengan center *gate* pada dasar *driving lead* agar posisi tiang tidak bergeser selama pemancangan, terutama untuk tiang batang pertama.
7. Pemancangan dimulai dengan mengangkat dan menjahtukan *hammer* secara berkesinambungan keatas helmet yang terpasang diatas kepala tiang.
8. Pemancangan dapat dihentikan sementara untuk penyambungan batang berikutnya bila level kepala tiang telah mencapai level muka tanah sedangkan level tanah keras yang diharapkan belum tercapai.

Proses penyambungan tiang :

- a. Tiang diangkat dan kepala tiang dipasang pada helmet seperti yang dilakukan pada batang pertama.
- b. Ujung bawah tiang didudukkan diatas kepala tiang yang pertama sedemikian sehingga sisi-sisi pelat sambung kedua tiang telah berimpit dan menempel menjadi satu.
- c. Penyambungan dilakukan dengan pengelasan penuh di sekeliling pertemuan kedua pelat ujung
- d. Tempat sambung las dilapisi dengan anti karat atau dicat.

9. Selesai penyambungan, pemancangan dapat dilanjutkan seperti yang dilakukan pada batang pertama. Penyambungan dapat diulangi sampai mencapai kedalaman tanah keras yang ditentukan.
10. Pemancangan tiang dapat dihentikan (selesai) bila ujung bawah tiang telah mencapai lapisan tanah keras/*final set* yang ditentukan.
11. Pemotongan tiang pancang pada *cut off level* yang ditentukan sesuai *shop drawing*.

### C. QUALITY CONTROL

1. Kondisi Fisik Tiang :
  - a. Seluruh permukaan tiang tidak rusak atau retak.
  - b. Umur beton telah memenuhi syarat.
  - c. Kepala tiang tidak boleh mengalami keretakan selama pemancangan
2. Toleransi :

Vertikalisasi tiang diperiksa secara periodic selama proses pemancangan berlangsung. Penyimpangan arah vertical dibatasi tidak lebih dari 1:75 dan penyimpangan arah horizontal dibatasi tidak lebih dari 75 mm.
3. Penetrasi :

Tiang sebelum dipancang harus diberi tanda pada setiap setengah meter di sepanjang tiang untuk mendeteksi penetrasi per setengah meter. Dicatat jumlah pukulan untuk penetrasi setiap setengah meter.
4. Final Set :

Pemancangan baru dapat dihentikan apabila telah dicapai final set sesuai perhitungan.

#### **D. DOKUMENTASI METODE PELAKSANAAN TIANG PANCANG**



Gambar Lampiran 1 : Titik yang akan dipancang



Gambar Lampiran 2 : Pemindahan tiang pancang



Gambar Lampiran 3 : Pengikatan tiang pancang



Gambar Lampiran 4 : Pengangkatan tiang pancang (bagian Bottom)



Gambar Lampiran 5 : Pemasukan tiang ke alat jack pile



Gambar Lampiran 6 : Proses penjepita tiang



Gambar Lampiran 7 : Pengoperasian Alat



Gambar Lampiran 8 : Pempresisian tiang ke titik pancang





Gambar Lampiran 9 : Pengangkatan tiang (bagian upper)



Gambar Lampiran 10 : Tiang bagian upper dimasukkan kealat



Gambar Lampiran 11 : Pempresisian tiang bottom dan upper



Gambar Lampiran 12 : Posisi tiang yang telah presisi



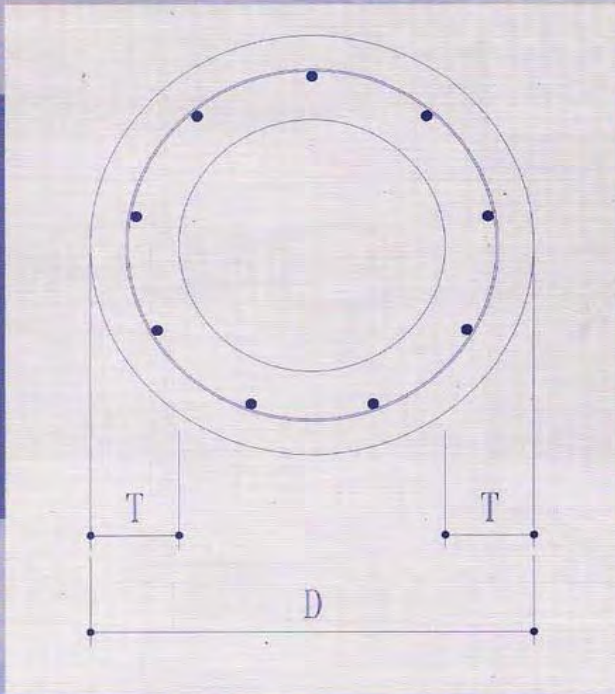
Gambar Lampiran 13 : Penyambungan tiang dengan las



Gambar Lampiran 14 : Tiang pancang upper ditekan dengan ruyung sampai kedalam yang diinginkan



## Shape and Dimension



## Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment		Allowable Axial Load (Ton)
						Crack (Ton.m)	Ultimate (Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50

# DRILLING LOG

Project No.  
Bore Hole No. **B XI ( Abutmen )**  
Water Table


Project  
Lokasi **Pamekasan (Madura)**  
Elevation : **± 0,0 ( muka tanah setempat )**

Type of Drilling **Rotary**  
Date **21-25 Jan 2011**  
Driller **Suki**

Remarks  
UD = Undisturb Sample  
SPT = SPT Test

Scale in m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend		Colour	Relative Density or Consistency	General Remarks	UD / SPT		Standard Penetration Test									
									Depth in	Sample C	N-Value Blows/3	Blows per each 15			N - Value					
0		0.00																		
1		-1.00	1.00		Lempung Berlanau				1.5											
2		-2.00	1.00		Lempung Berlanau Berpasir Berkerkil	Coklat	Medium		2.0	SPT-1	8	2	3	5						
3		-3.00	1.00		Lempung Berlanau Berkerkil	Abu-abu	Stiff													
4					Lempung Berlanau Berpasir Berkerkil	Abu-abu	Stiff		3.5											
5		-5.00	2.00						4.0	SPT-2	20	8	8	12						
6		-6.00	1.00		Lempung Berlanau Berpasir Berbatu	Abu-Abu	Hard		5.5											
7					lempung Berlanau Berpasir	Abu-abu	Hard		6.0	SPT-3	>60	6	23	60						
8									7.5											
9					Lempung Berlanau Berpasir Berkerkil	Kuning Kecoklatan	Hard		8.0	SPT-4	40	7	15	25						
10		-10.00	4.00						9.5											
11									10.0	SPT-5	36	10	11	25						
12									11.5											
13									12.0	SPT-6	>60	60								
14									13.5											
15									14.0	SPT-7	>60	30	60							
16									15.5											
17									16.0	SPT-8	>60	18	60							
18									17.5											
19									18.0	SPT-9	>60	15	33	60						
20									19.5											
21									20.0	SPT-10	>60	13	35	60						
22									21.5											
23									22.0	SPT-11	>60	17	25	49						
24									23.5											
25									24.0	SPT-12	>60	18	25	60						
26									25.5											
27		-27.00	17.00						26.0	SPT-13	>60	26	60							
28									27.5											
29					Lanau Berlempung Berpasir Berbatu	Kaabu-abuan	Hard		28.0	SPT-14	>60	60	60							
30		-30.00	3.00						29.5											
									30.0	SPT-15	>60	13	23	38						

Legenda :

 = Lempung

 = Pasir

 = Batu

 = Lanau

 = Kerkil



Penulis lahir pada tanggal 25 bulan Mei tahun 1994 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Achmad Fauzi Primabella ini merupakan lulusan dari SDN Galak, juga pernah bersekolah di SMPN 5 Ponorogo dan SMAN 1 Ponorogo. Setelah lulus SMAN 1 Ponorogo pada tahun 2013, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun kuliah di ITS. Bahkan pernah menduduki posisi atau jabatan sebagai ketua divisi Logistik dan Pengadaan UKM Sepakbola ITS, Staff Ahli Seni dan Olahraga BEM FTSP ITS 2015-2016. Penulis juga pernah mewakili ITS dalam lomba Futsal dan Voli Tingkat Nasional. Selain itu, juga pernah mendapat juara 1 Futsal IFC 2015





Penulis lahir pada tanggal 11 bulan Februari tahun 1996 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis bernama lengkap Risas Romadhon Ridhoh ini merupakan lulusan dari SDN 03 Sumberjati, juga pernah bersekolah di SMPN 01 Tempeh, dan SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo. Selain itu, penulis juga pernah aktif di kegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun. Ditahun pertama aktif sebagai staff JMMI ITS dan sempat menjadi kepala departmen Kaderisasi JMAA, untuk ditahun ketiga penulis masih aktif dan menjabat sebagai Ketua Lembaga Eksekutif HMDS FTSP ITS 2015-2016. Penulis juga pernah mewakili ITS dalam berbagai lomba dan mendapat beberapa penghargaan sebagai juara 1 Lomba Gambar Teknik Nasional di Politeknik Negeri Malang, juara 1 Lomba Desain Jembatan Nasional di Politeknik Negeri Jakarta dan juara 3 dalam Lomba Desain Perumahan Nasional di Universitas Negeri Lampung.